



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE-L

## CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORES: MARCO FLORES  
FRANCISCO TOAPANTA

TEMA: “INVESTIGACIÓN DEL DESEMPEÑO Y EMISIONES  
DEL MOTOR DIESEL MZR – CD 2.5L CRDI AL IMPLEMENTAR  
EL CONJUNTO SCR CON INYECCIÓN DE ADBLUE EN EL  
SISTEMA DE ESCAPE”

DIRECTOR: ING. LEONIDAS QUIROZ

LATACUNGA 2018



# CONTENIDO

- Antecedentes
- Planteamiento del problema
- Objetivos
- Metas
- Hipótesis
- Introducción
- Implementación del sistema
- Pruebas
- Análisis de resultados
- Conclusiones
- Recomendaciones



# ANTECEDENTES

*El Ministerio del Ambiente menciona que el 76% de la contaminación atmosférica proviene de los vehículos*

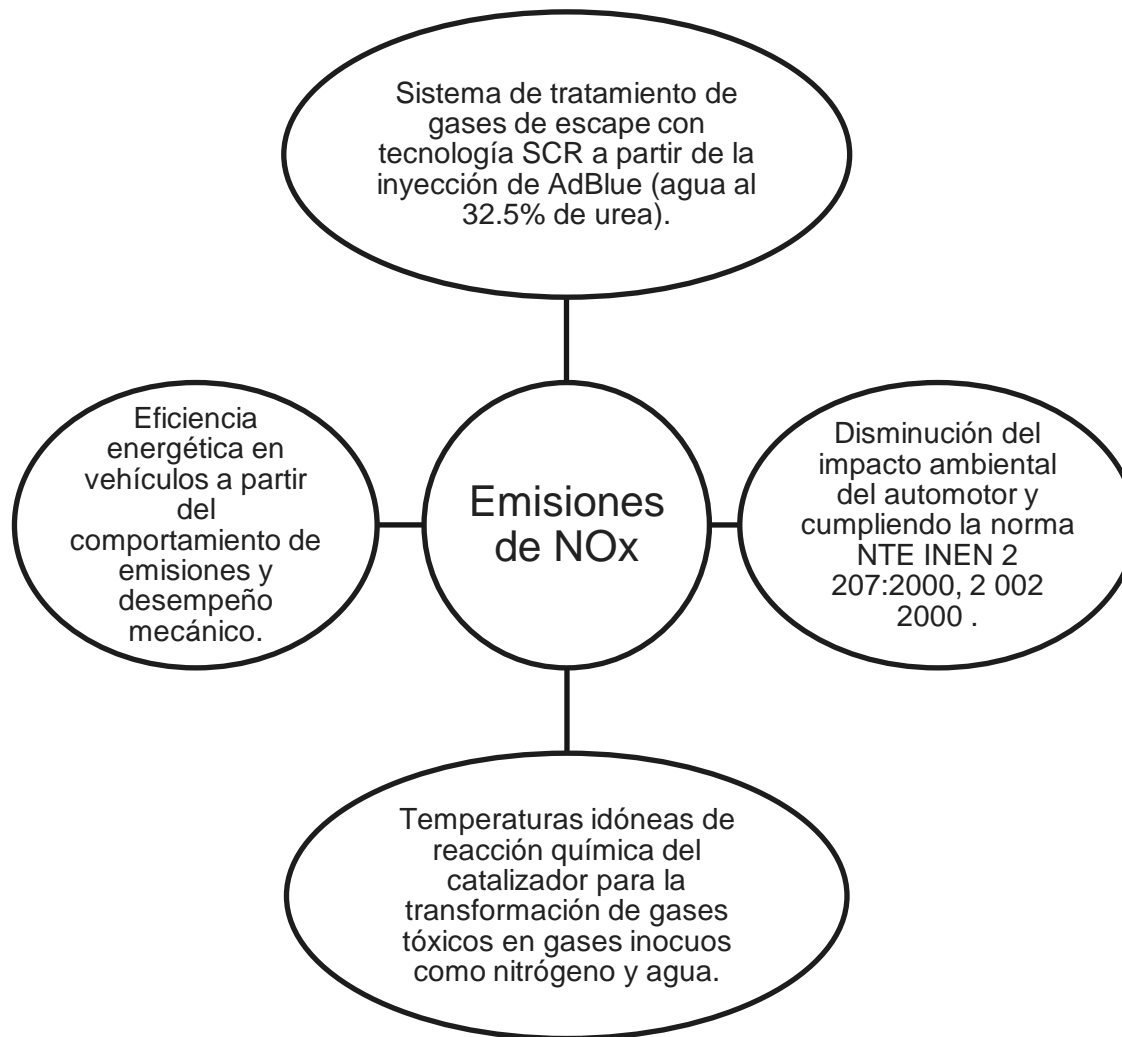
*Hay marcas que han combinado varios elementos, desde filtros antipartículas (FAP) con aditivo, el catalizador Selected Catalytic Reduction (SCR).*

*La tecnología de Reducción Catalítica Selectiva (SCR) reduce las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) mediante el uso de un catalizador. SCR*

*En 2006, la tecnología se introdujo con éxito en el mercado europeo de los vehículos diésel industriales, y permitió que los camiones pudieran cumplir con los límites establecidos en las normas Euro 4 y Euro 5.*



# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



# OBJETIVOS

- **Objetivo general**

Investigar el desempeño y emisiones del motor diésel MZR – CD 2.5L CRDI al implementar el conjunto SCR con inyección de AdBlue en el sistema de escape.



# Objetivos Específicos

- Recopilar información teórica y técnica inherente a sistemas de control de emisiones y equipo a utilizar para el desarrollo del proyecto de investigación.
- Diseñar el módulo de control, que regule los tiempos de inyección y apertura del inyector, considerando todos los parámetros necesarios para obtener un funcionamiento eficiente del sistema SCR.
- Implementar el sistema SCR tomando en cuenta los parámetros mecánicos, físicos y térmicos para la instalación y adecuada ubicación del inyector, depósito de AdBlue, bomba de AdBlue, catalizador y su módulo de control.



- Realizar pruebas de emisiones de óxidos nitrosos, opacidad, torque y potencia.
- Tabular los datos obtenidos, usando gráficas para generar un registro de las variaciones antes y después de la implementación del sistema SCR, en porcentaje de emisiones de gases y de los parámetros característicos (torque, potencia y consumo de combustible).
- Analizar los resultados obtenidos de la investigación antes y después de haber acondicionado el sistema SCR de tal forma validar su funcionamiento con una optimización del tratamiento de gases de escape.



# METAS

- Implementar el sistema SCR para inyectar AdBlue (agua al 32,5 % con urea), en el sistema de escape del motor MZR – CD 2.5L CD 4x2 STD CRDI Diésel con un módulo de control electrónico para reducir los niveles de emisiones de HC un 30%, NOx un 35% y la opacidad en un 45%.





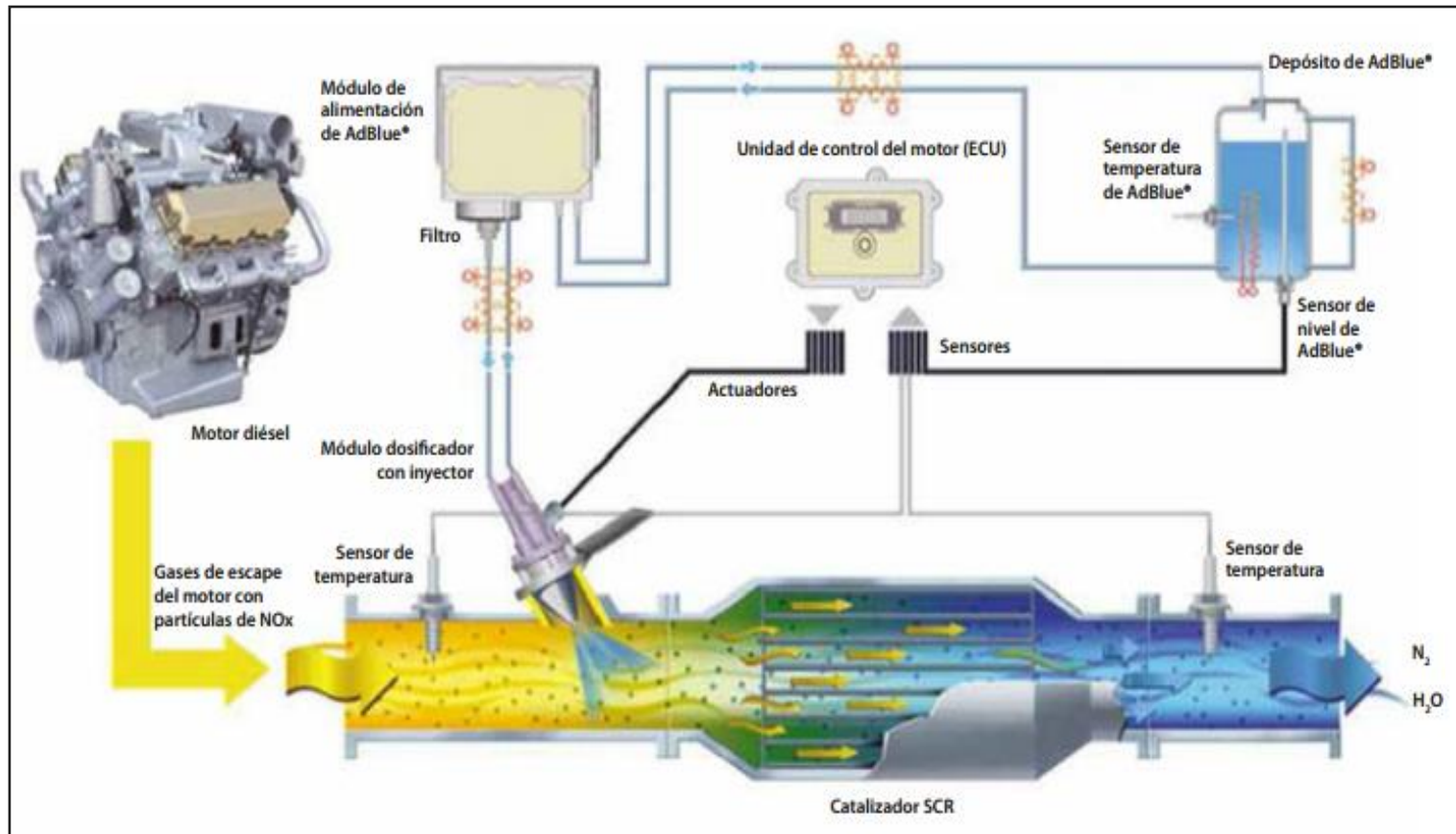
# HIPÓTESIS

- ¿La implementación del sistema SCR al inyectar agua al 32,5% con urea (AdBlue) en el sistema de escape del motor MZR – CD 2.5L CD 4x2 STD CRD Diésel, reducirá los óxidos de nitrógeno (NOx) en un 35%?

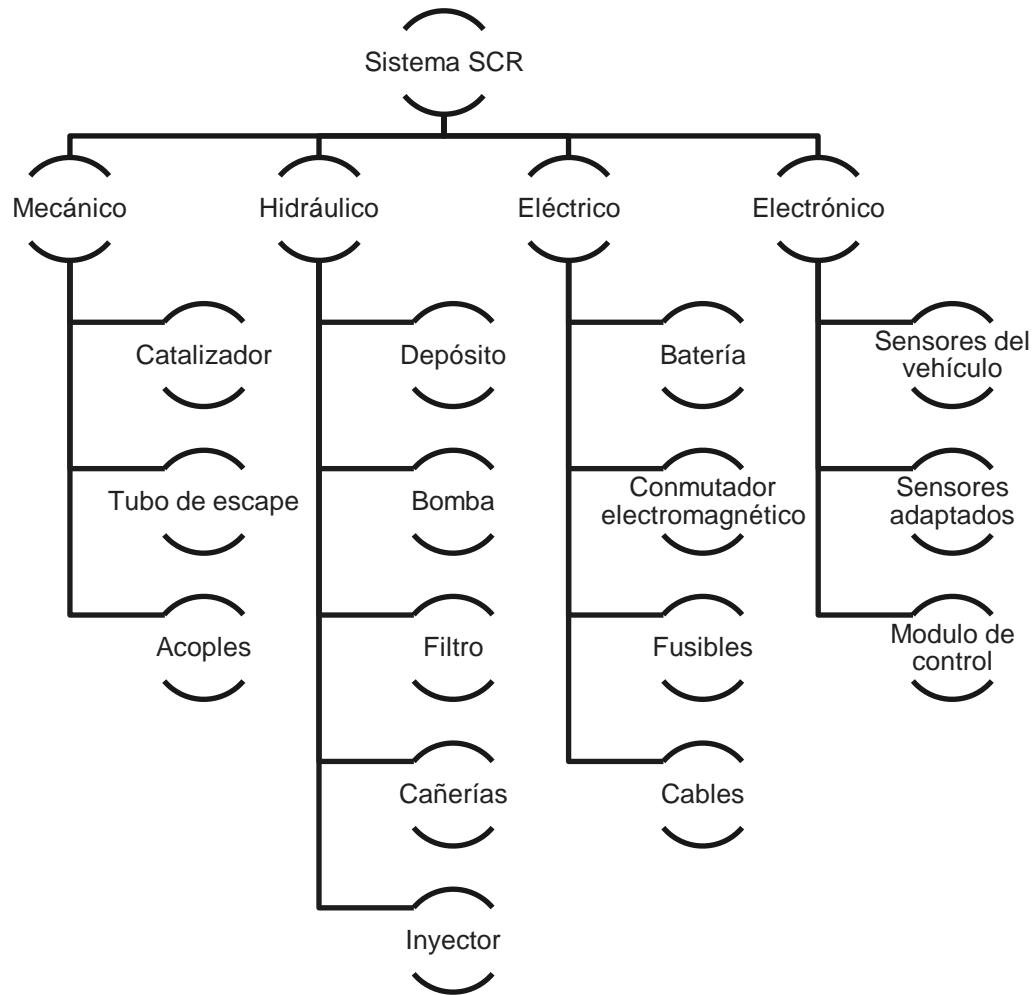


# INTRODUCCIÓN

- Funcionamiento del sistema SCR



# Componentes del sistema SCR



# Equipos utilizados



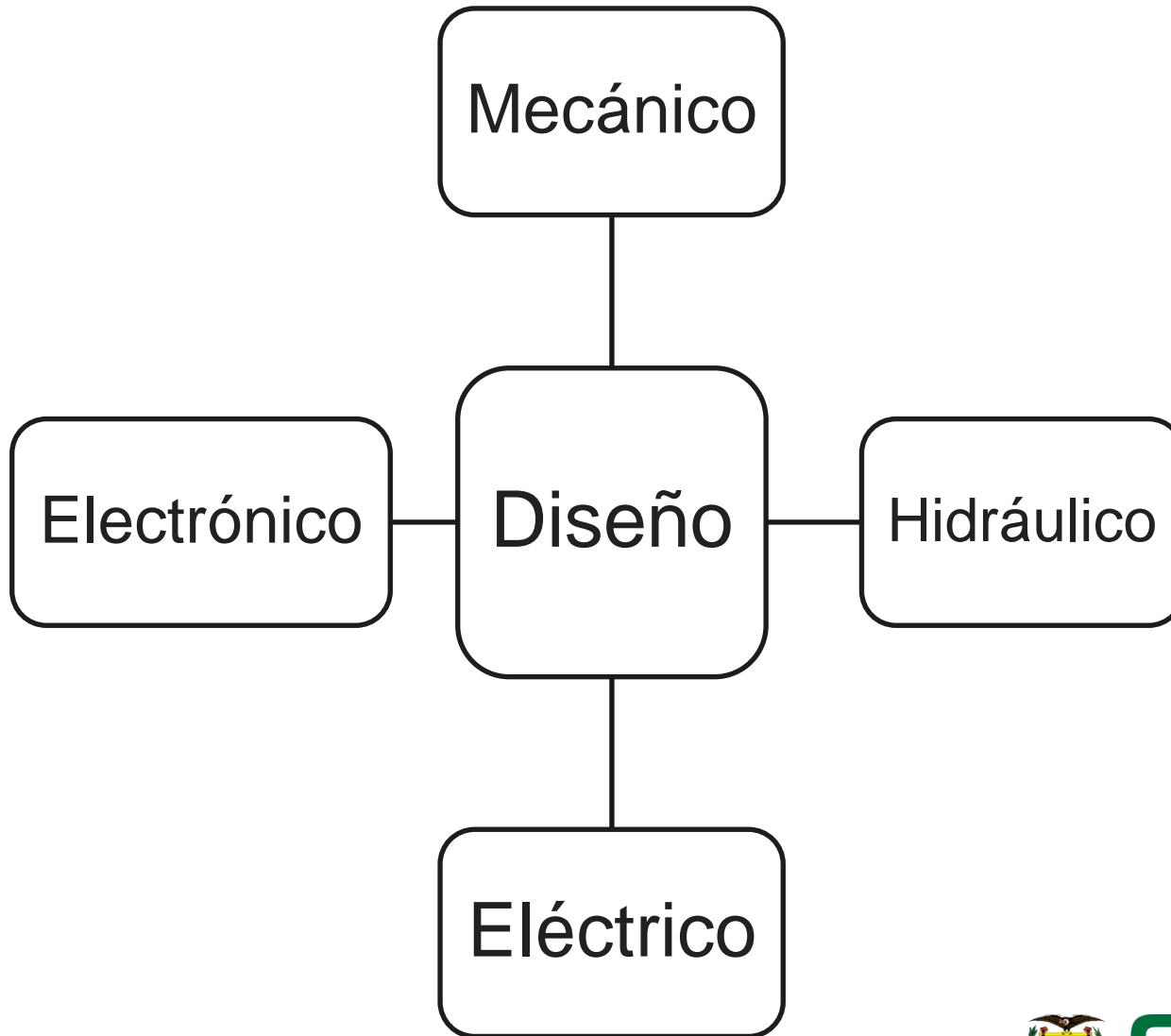
# IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

- Levantamiento de requerimientos

Catalizador SCR	Tubo de acero	Soportes	Termocupla
Inyector de AdBlue	Bomba	Filtro	Depósito
Sensor de nivel de AdBlue	Módulo de control	Señal del sensor APP	Señal de sensor CMP
	Señal del sensor ECT	Voltaje de la batería	

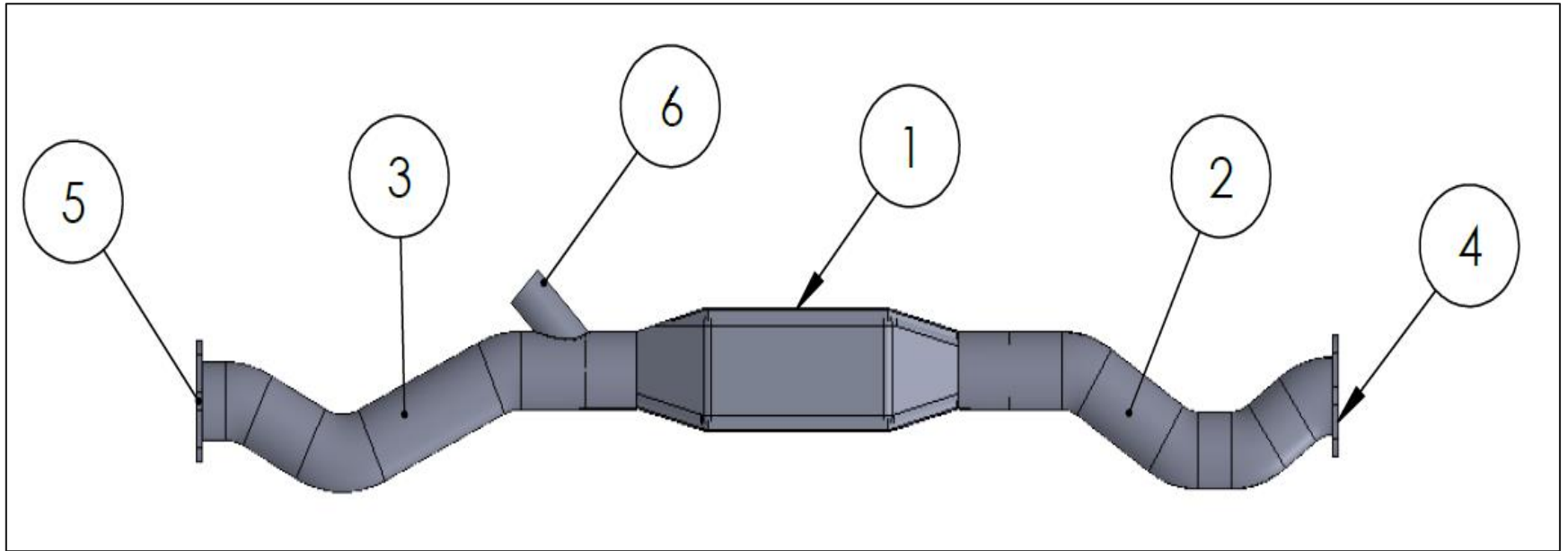


# Diseño



# DISEÑO MECÁNICO

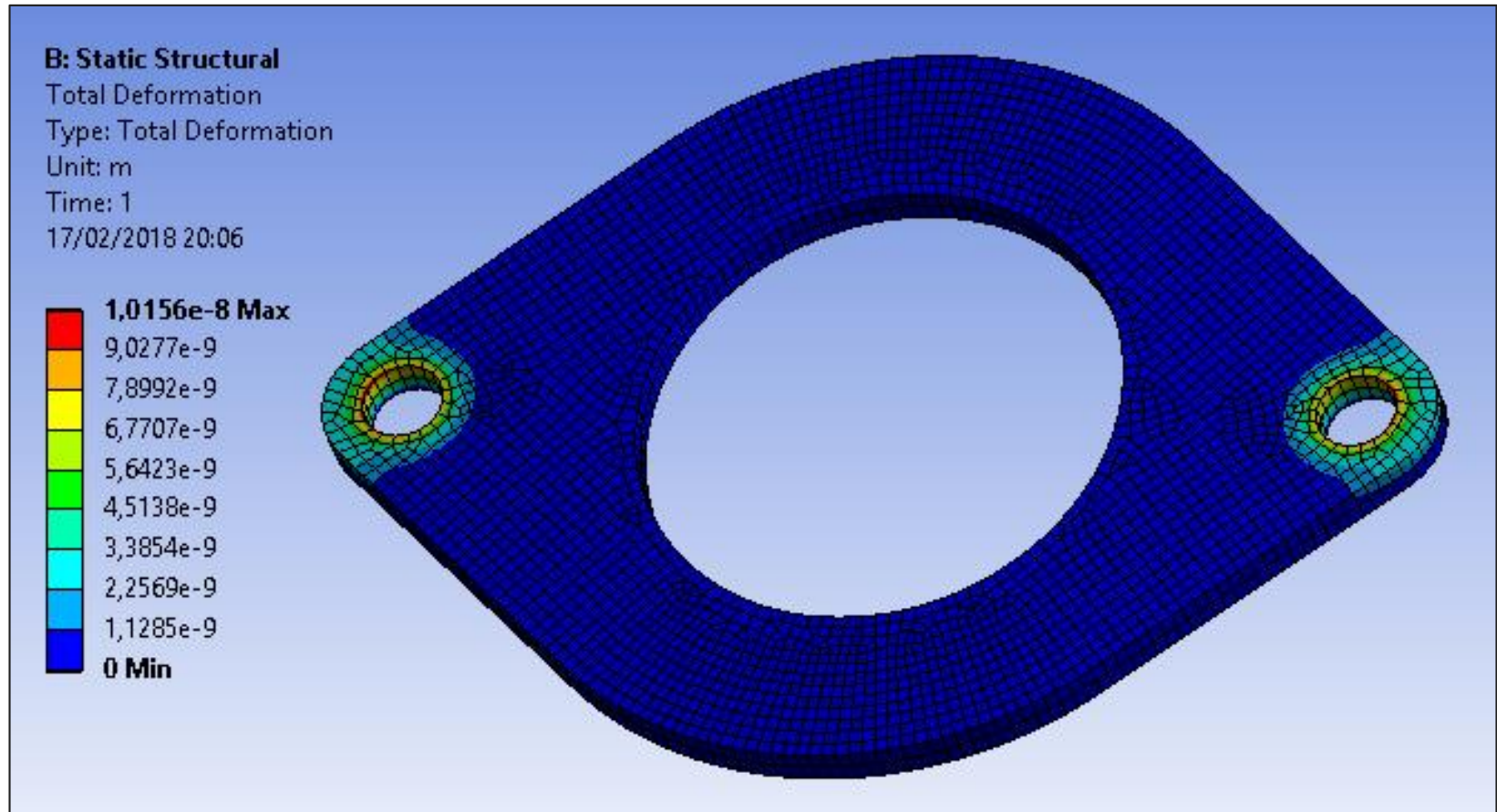
- Elementos del sistema de escape SCR



- |                   |                      |
|-------------------|----------------------|
| 1. Catalizador    | 4. Soporte posterior |
| 2. Tubo posterior | 5. Soporte delantero |
| 3. Tubo delantero | 6. Inyector          |

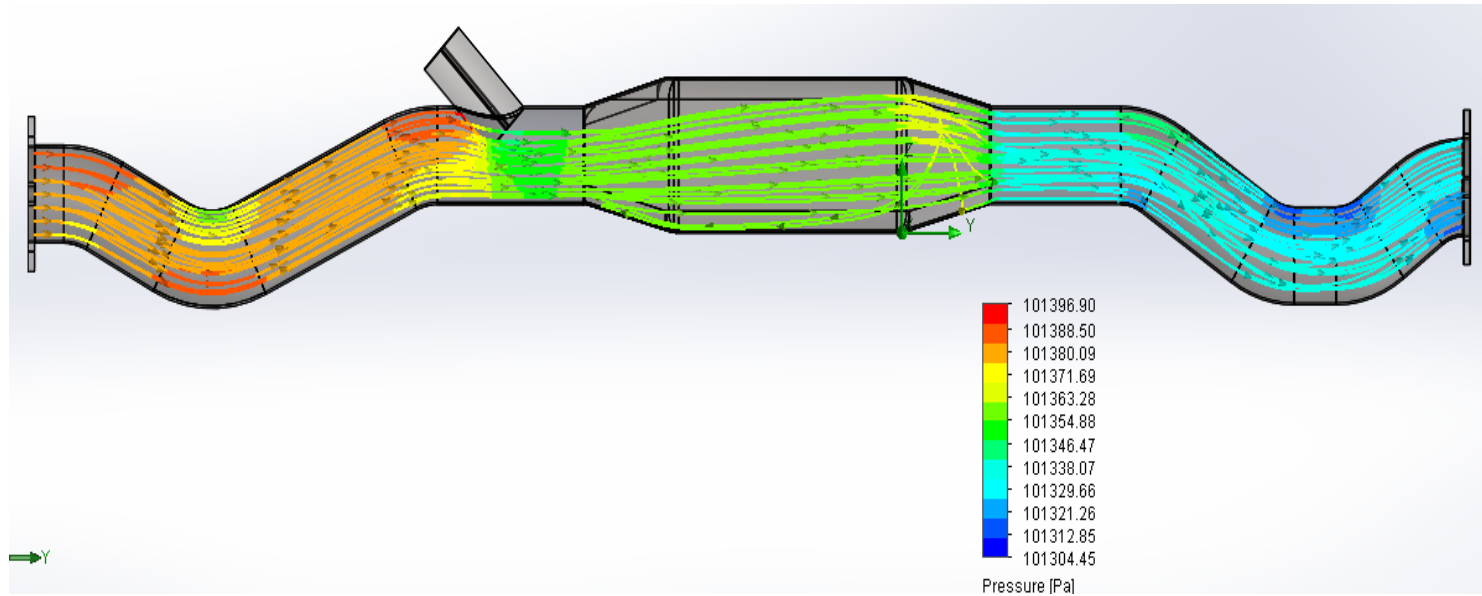


# Deformación producida por el apriete de los pernos





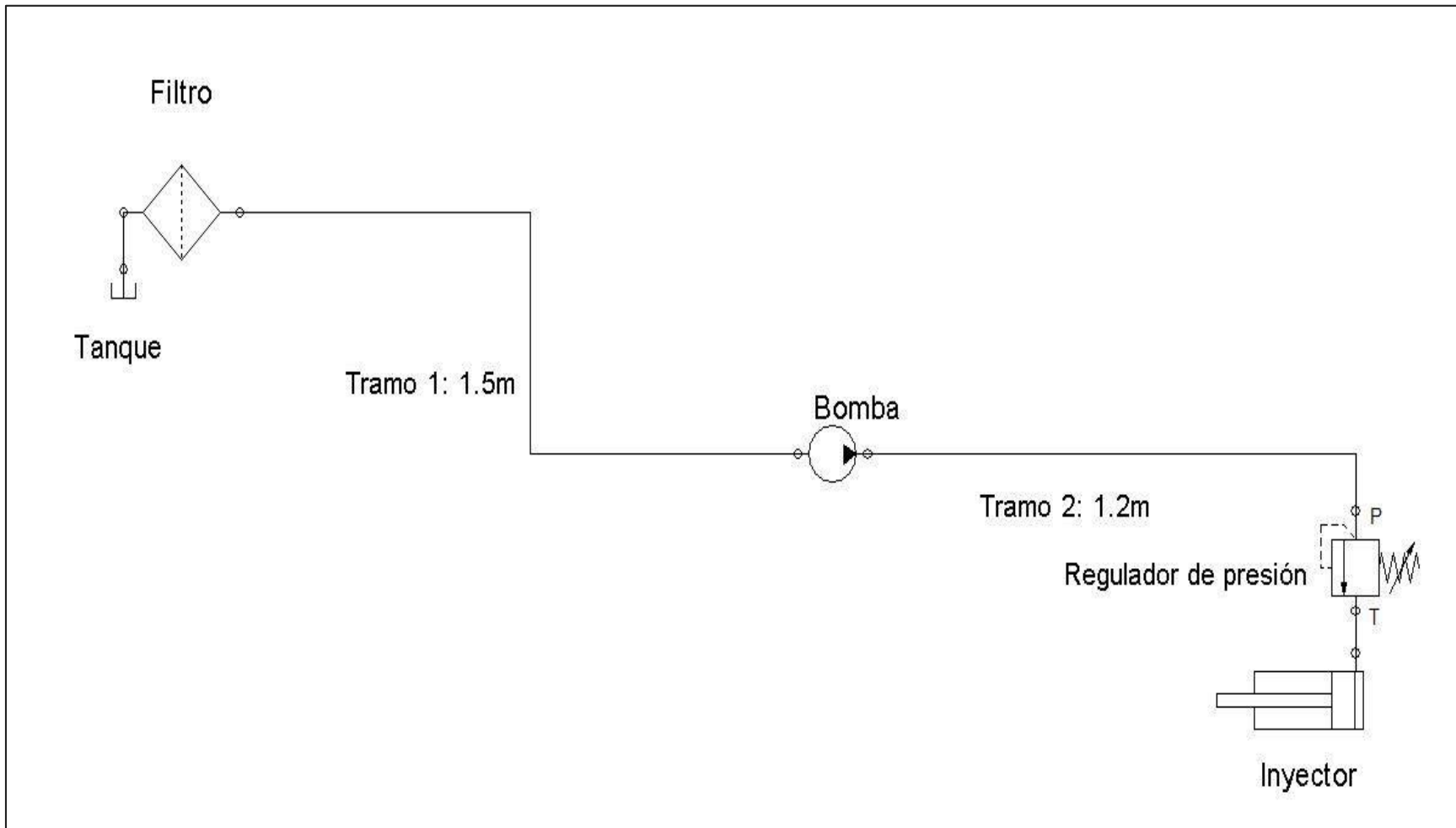
# Flujo de gases de escape



# DISEÑO HIDRÁULICO

Datos de entrada		Ecuación
Radio interno de la cañería (r): $3 \times 10^{-3}$ m		$A = \pi * r^2$
Área interna de la cañería (A) = $2.827433388 \times 10^{-5}$ m <sup>2</sup>		
Caudal (Q): 0.12 m <sup>3</sup> /h	Área interna de la cañería (A) = $2.82 \times 10^{-5}$ m <sup>2</sup>	$V = \frac{Q}{A}$
<b>Velocidad del fluido (V) = 4244.13 m/h = 1.17 m/seg</b>		
Viscosidad dinámica (η): $14 \times 10^{-3}$ Pa*s	Diámetro de succión y descarga (D): $6 \times 10^{-3}$ m	$N_R = \frac{V * D * \rho}{\eta}$
<b>Número de Reynolds (N<sub>R</sub>) = 5492.108671 (Flujo turbulento)</b>		
Rugosidad del material (ε): $1 \times 10^{-5}$ m		$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 \frac{D}{\epsilon}} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}} \right) \right]^2}$
Factor de fricción (f) = $38.93 \times 10^{-3}$		
Coefficiente de resistencia (K): 0.5	Gravedad (g): 9.81 m/s <sup>2</sup>	$h_L = K \frac{V^2}{2g}$
Pérdidas menores (h <sub>L</sub> ) = $34.99 \times 10^{-3}$ m		
Distancia de la cañería desde el deposito hasta la bomba (L <sub>1</sub> ): 1.5 m		$h_{L1} = \frac{f * L_1 * V^2}{D * 2g}$
Pérdidas en la cañería tramo 1 (h <sub>L1</sub> ) = 0.61 m		
Distancia de la cañería desde la bomba hasta el inyector (L <sub>2</sub> ): 1.2 m		$h_{L2} = \frac{f * L_2 * V^2}{D * 2g}$
Pérdidas en la cañería tramo 2 (h <sub>L2</sub> ) = 0.48 m		
Pérdidas en la cañería tramo 1 (h <sub>L1</sub> ) = 0.64 m	Pérdidas en la cañería tramo 2 (h <sub>L2</sub> ) = 0.48 m	$h_{LT} = h_L + h_{L1} + h_{L2}$
<b>Pérdidas totales (h<sub>LT</sub>) = 1.13 m</b>		
Densidad (ρ) = 1087 kg/m <sup>3</sup>	Gravedad (g): 9.81 m/s <sup>2</sup>	$\gamma = \rho * g$
<b>Peso específico (γ) = 10.66347 KN/m<sup>3</sup></b>		
Ecuación general de energía Bernoulli		$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_a - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$
P <sub>1</sub> y V <sub>1</sub> = 0	Presión de la bomba (P <sub>2</sub> ) = 600000 Pa	$h_a = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} - Z_1 + h_L$
Z <sub>1</sub> = 1 m	Z <sub>2</sub> = 0.05 m	
Energía añadida por la bomba (h <sub>a</sub> ) = 58.49 m		
Pérdidas (h <sub>a</sub> ) = 58.49 m	Caudal (Q): $3.3 \times 10^{-5}$ m <sup>3</sup> /s	$Pot = h_a * \gamma * Q$
<b>Potencia de la bomba (Pot) = 20.79021 Watt = 0.0268204 hp</b>		





# DISEÑO ELÉCTRICO

- Potencia necesaria de la batería

Datos de entrada	Ecuación
Consumo de la bomba	
Voltaje: 12 V	Resistencia: 0.7 $\Omega$
	$I_{Bomba} = \frac{V}{R_{Bomba}}$
Intensidad que necesita la bomba= 17.14 A	
$Potencia_{Bomba} = I_{Bomba} * V = 205.714 \text{ Watt}$	
Consumo del inyector	
Voltaje: 12 V	Resistencia: 12.6 $\Omega$
	$I_{Inyector} = \frac{V}{R_{Inyector}}$
Intensidad que necesita el inyector= 0.952 A	
$Potencia_{Inyector} = I_{Inyector} * V = 11.428 \text{ Watt}$	
$Potencia_{necesaria} = Potencia_{Bomba} + Potencia_{Inyector}$	
$Potencia_{necesaria} = 217.143 \text{ Watt}$	



- Intensidad de corriente de los diferentes componentes

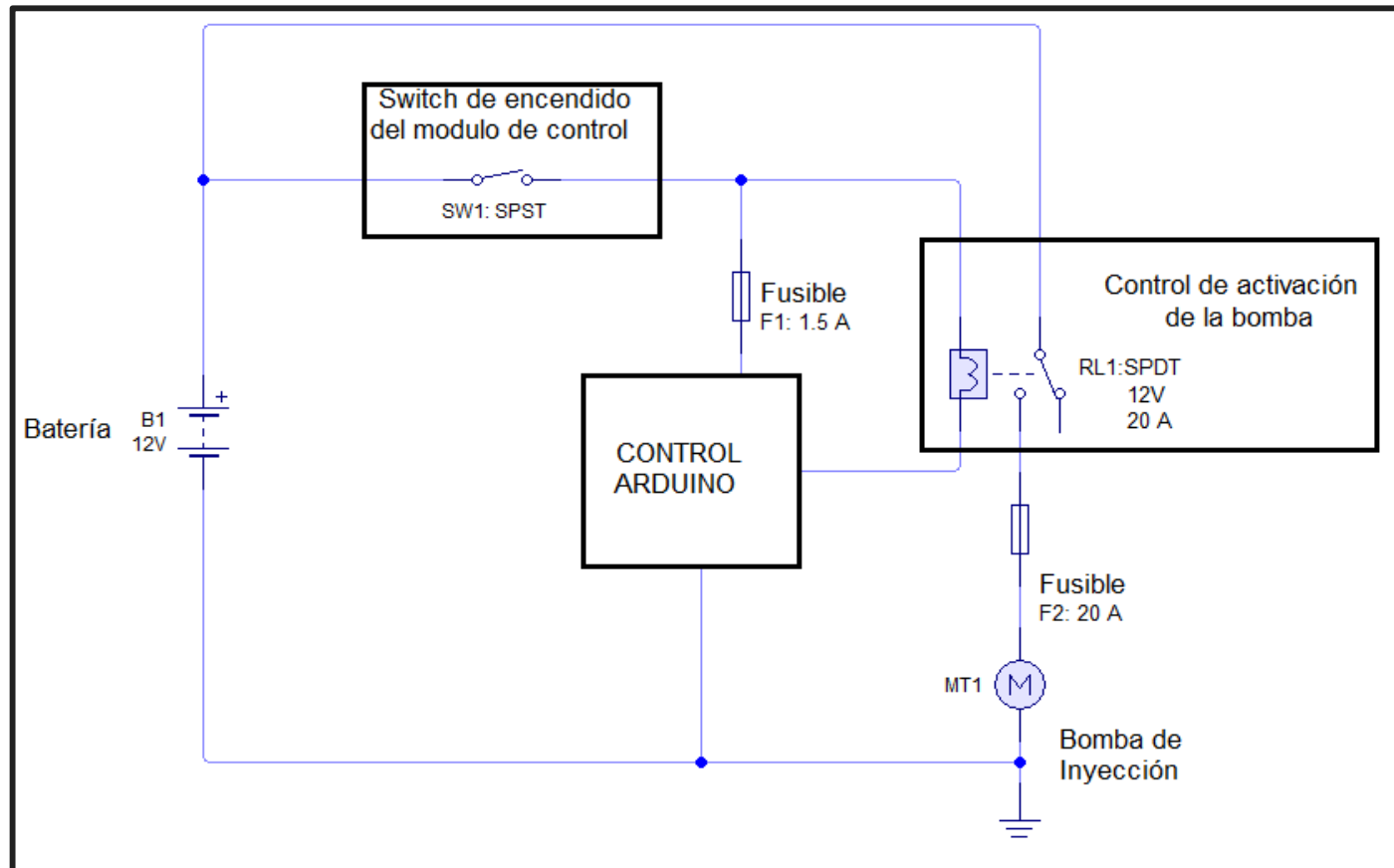
Componente	Datos de entrada	Ecuación	Intensidad	
Conmutador electromagnético	Voltaje: 12 V	Resistencia: 85 Ω	0.1412 A	
inyector		Resistencia: 12.6 Ω	0.952 A	
Transistor de la bomba		Resistencia: 35.2 KΩ	1.4 x10 <sup>-4</sup> A	
Transistor del inyector		Resistencia: 30.9 KΩ	1.6 x10 <sup>-4</sup> A	
2 transistores para visualización de nivel y acelerador	Voltaje: 5 V	Resistencia: 100 KΩ	1 x10 <sup>-4</sup> A	
Pulsadores		Resistencia: 10 KΩ	5 x10 <sup>-4</sup> A	
Led indicador de modo de funcionamiento	Voltaje: 3.4 V	Resistencia: 220 Ω	0. 0155 A	
			Intensidad arduino	0. 05 A
			Intensidad del display LCD	0. 1 A
			Intensidad señales del vehículo	0. 05 A
			Intensidad total de los componentes	1.3096 A

$$I = \frac{V}{R}$$

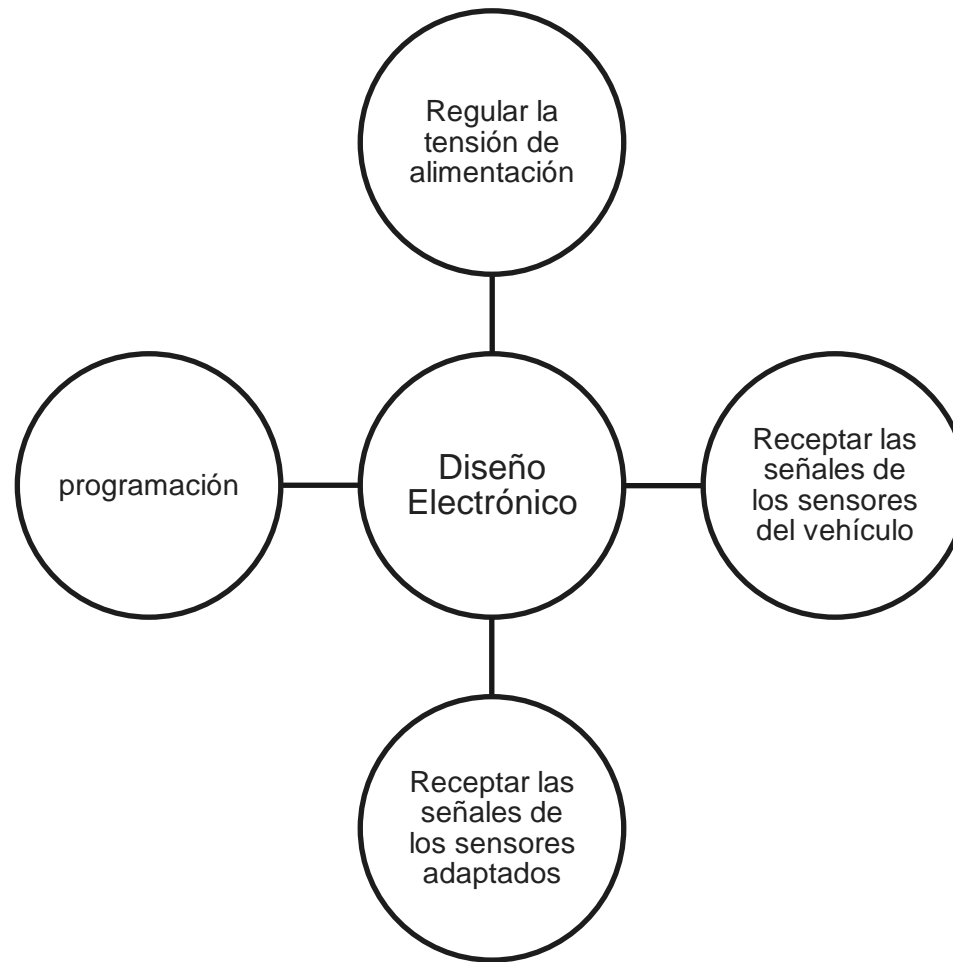


# DISEÑO ELÉCTRICO

- Alimentación de la batería y activación de la bomba

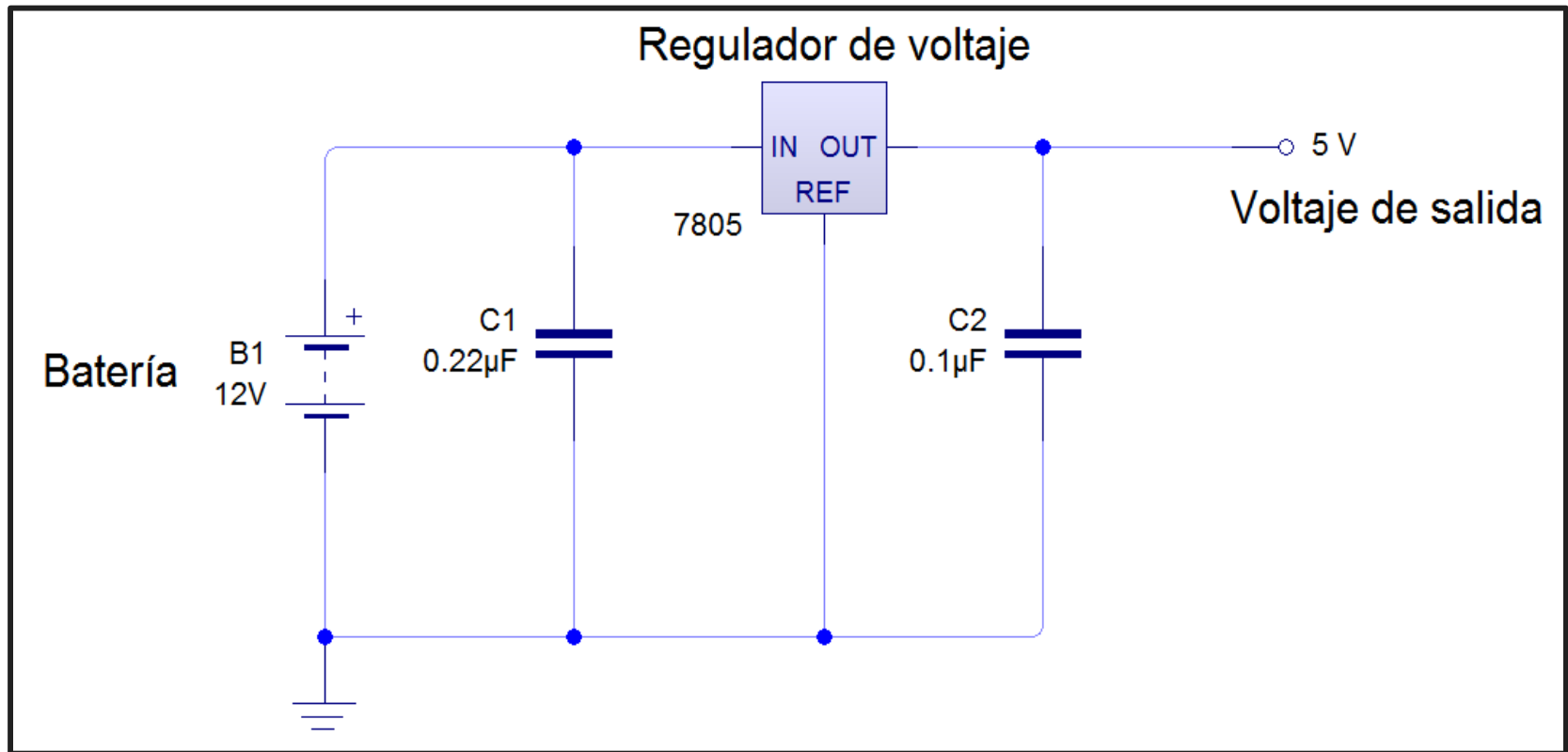


# DISEÑO ELECTRÓNICO



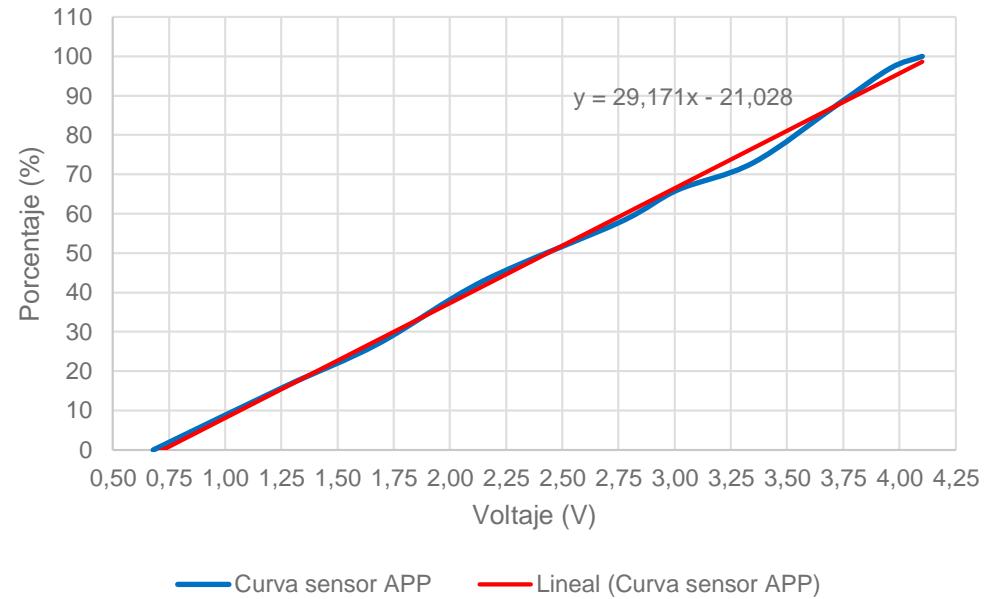
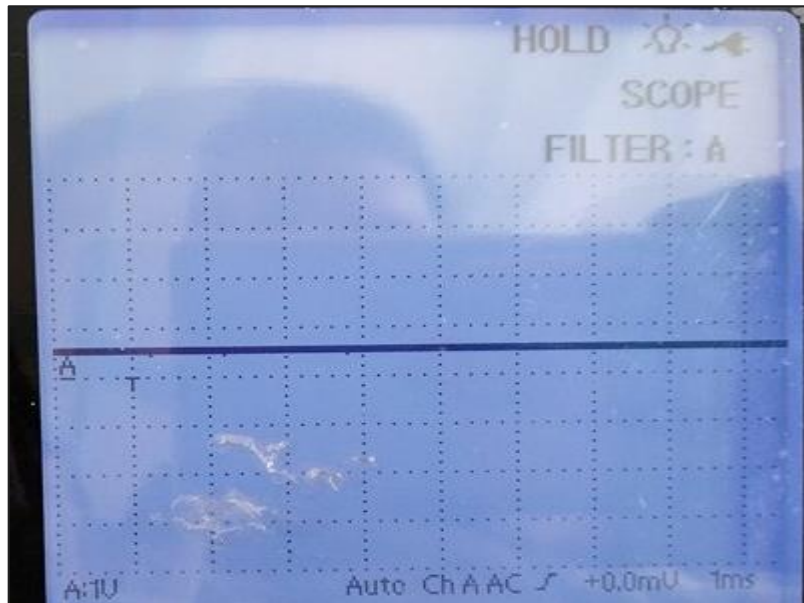
# DISEÑO ELECTRÓNICO

- Regulador de voltaje

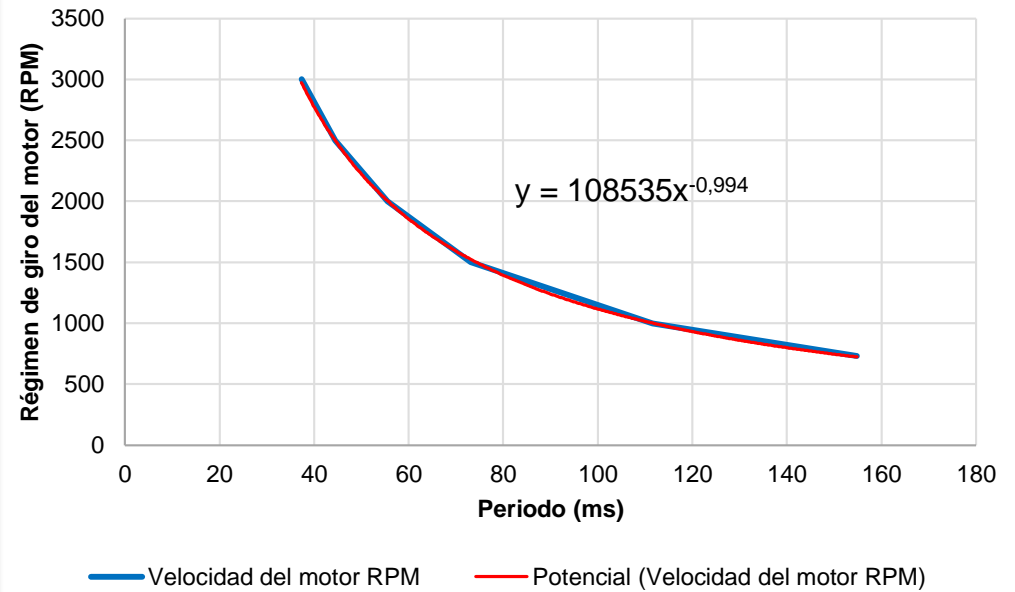
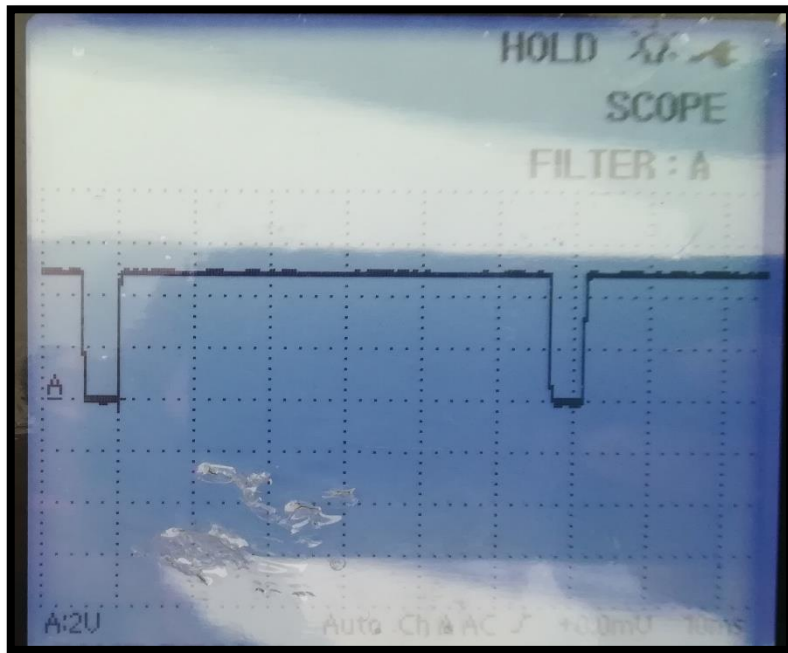




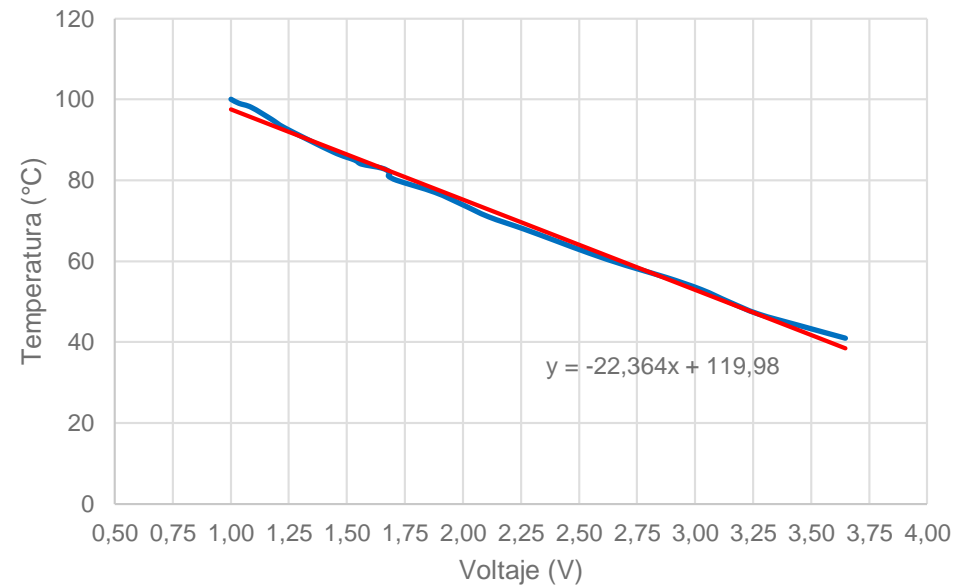
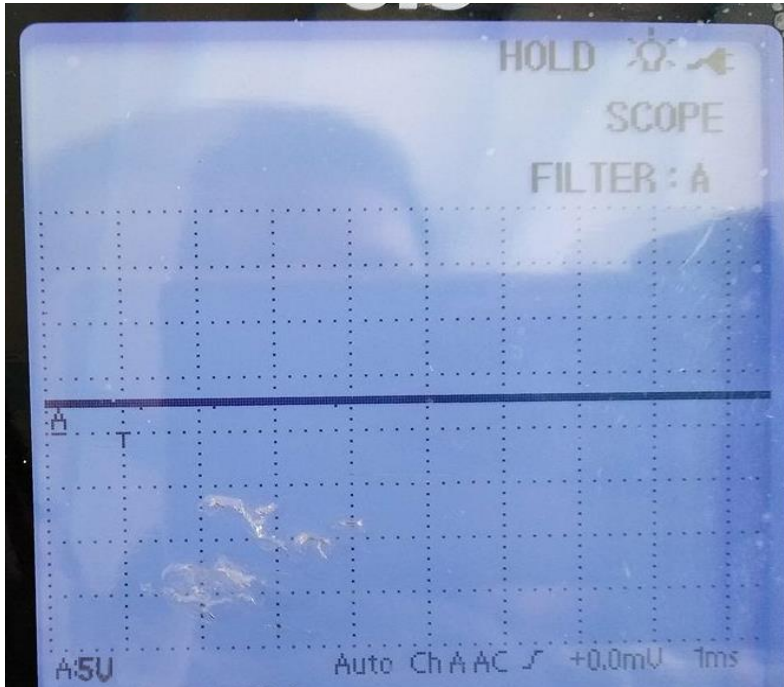
- Señal sensor APP



# • Señal sensor CMP



# • Señal sensor ECT

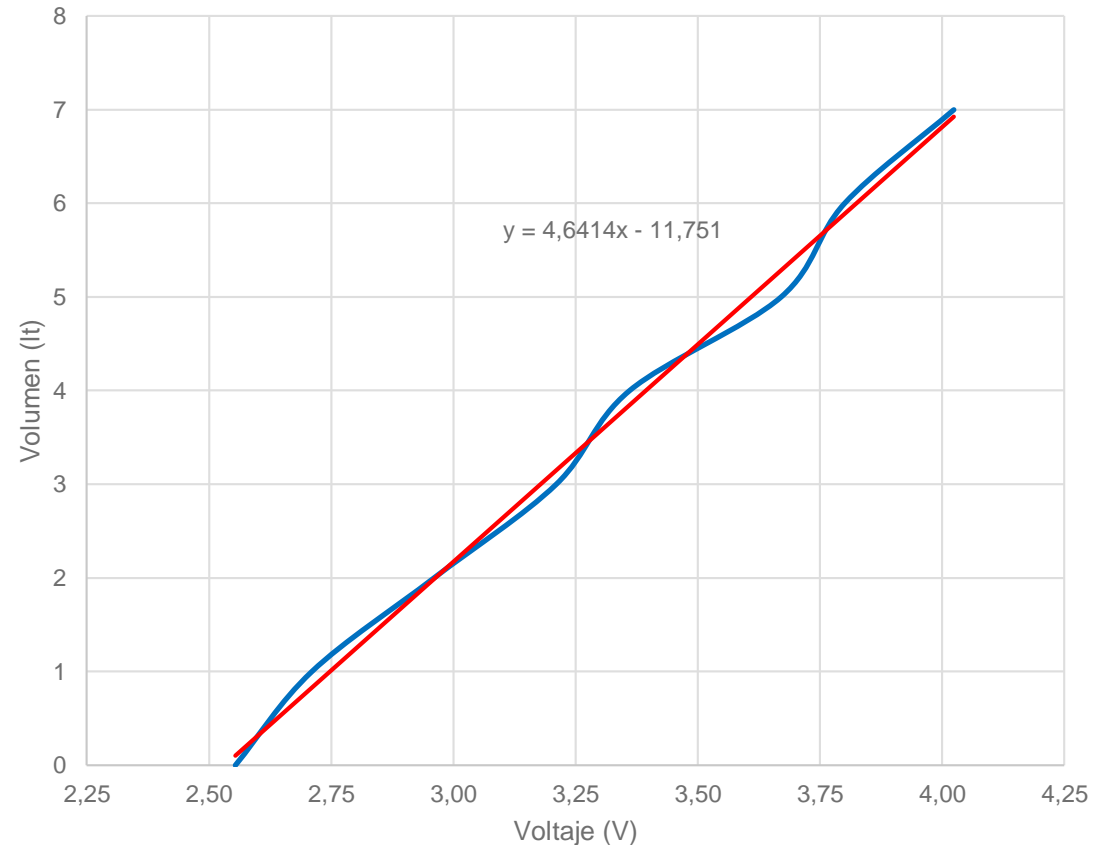


— Curva Sensor ECT — Lineal (Curva Sensor ECT)



- **Señal sensor de nivel de AdBlue**

Volumen		Señal
m <sup>3</sup>	lt	Voltaje (V)
0	0	2.55
1 x10 <sup>-3</sup>	1	2.71
2 x10 <sup>-3</sup>	2	2.96
3 x10 <sup>-3</sup>	3	3.21
4 x10 <sup>-3</sup>	4	3.36
5 x10 <sup>-3</sup>	5	3.67
6 x10 <sup>-3</sup>	6	3.80
7 x10 <sup>-3</sup>	7	4.02

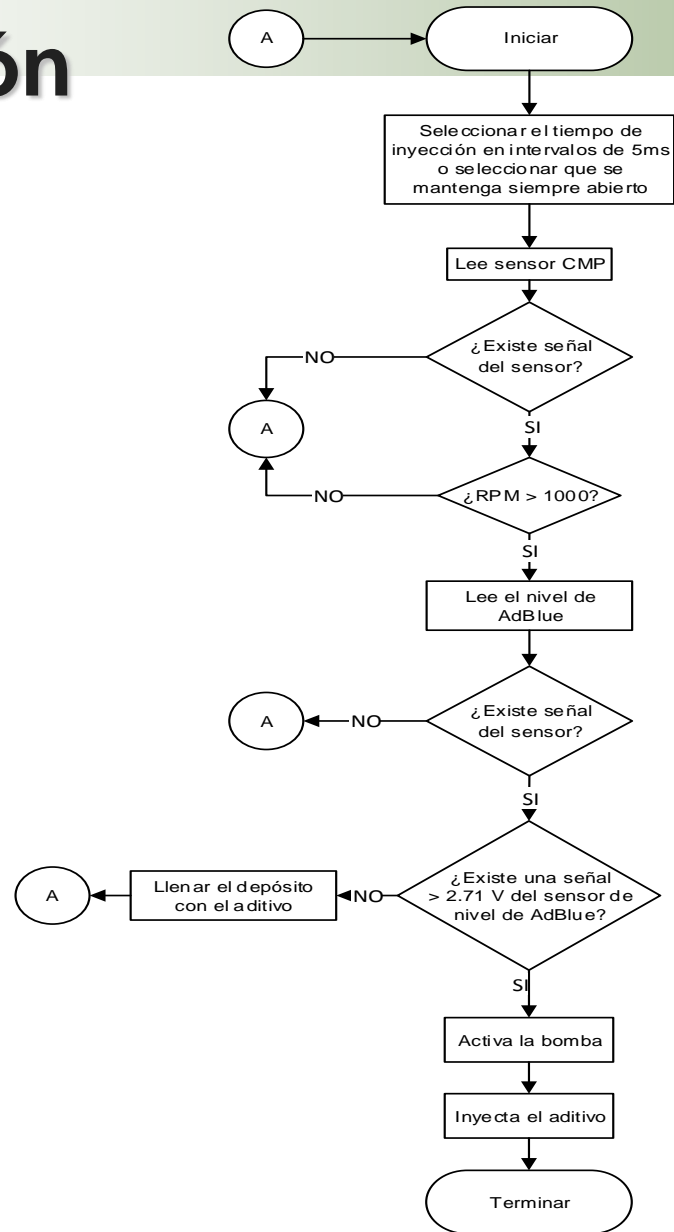


— Curva Volumen vs Voltaje      — Lineal (Curva Volumen vs Voltaje)

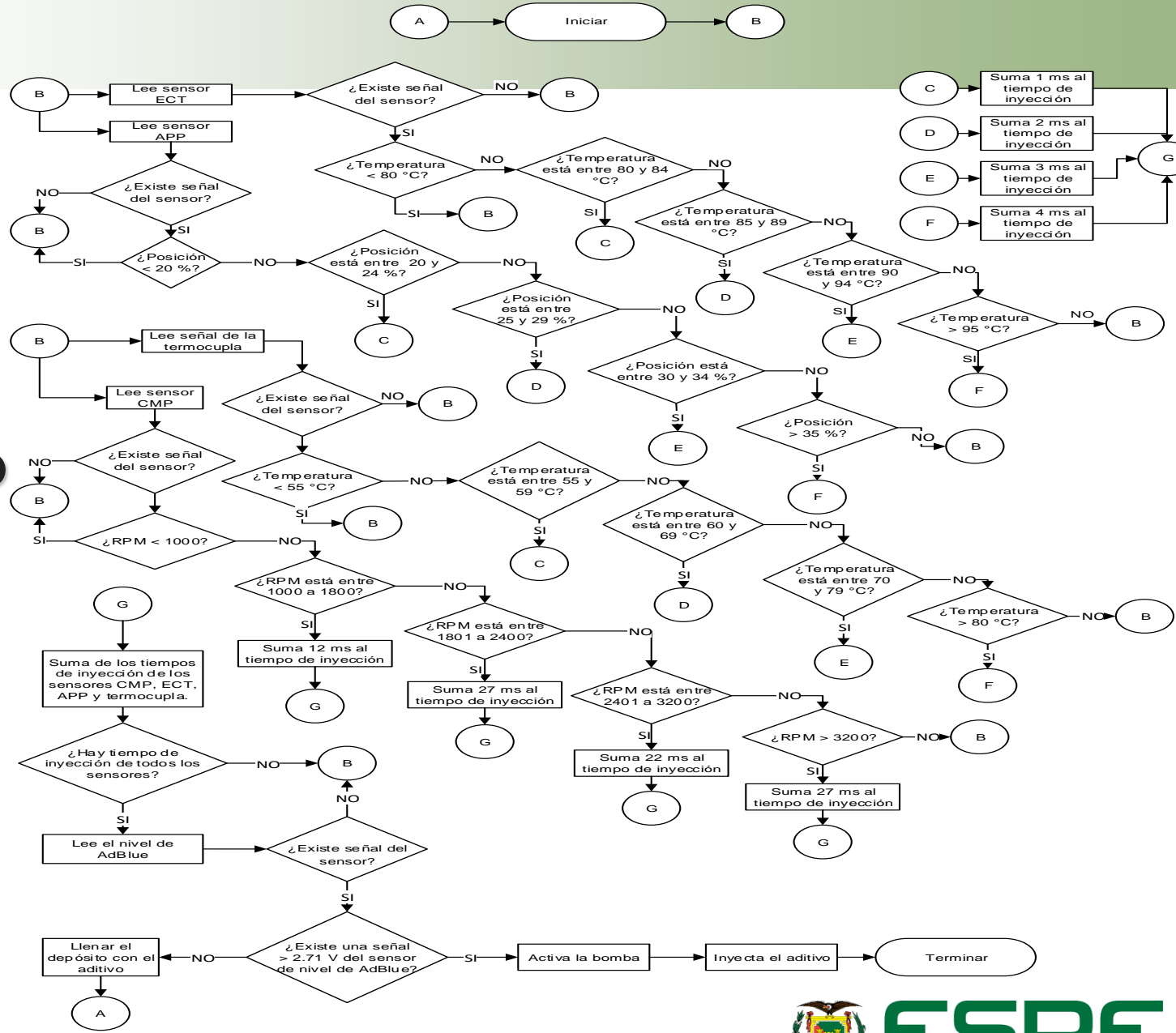


# Programación

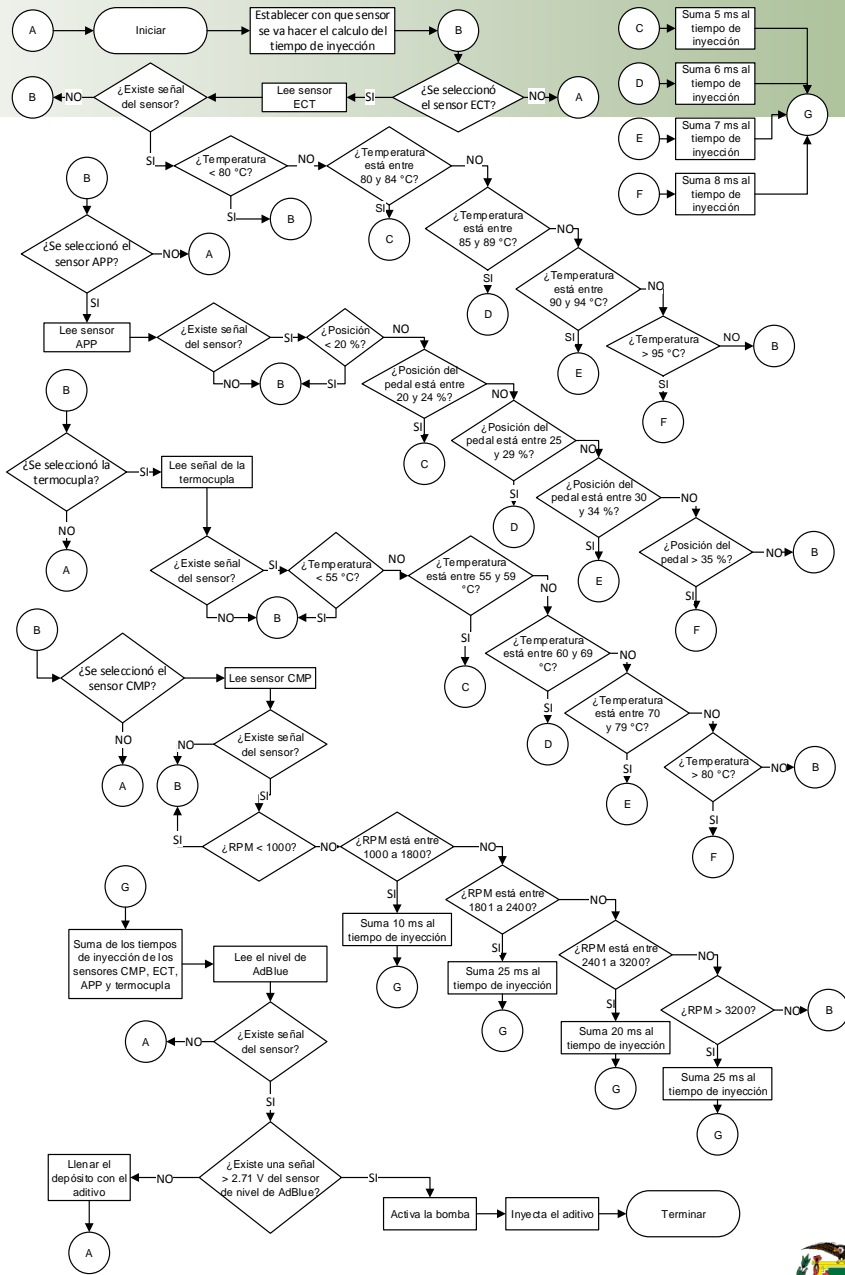
## Manual



# Automático



# Semiautomático



# PRUEBAS DE TORQUE Y POTENCIA

- Las pruebas de torque y potencia se basa en el protocolo de acuerdo a la norma SAE J1349 que establece un método que permite obtener mediciones precisas del rendimiento del motor.





# • Resultados

1ra PRUEBA						2da Prueba						3ra Prueba					
n	v	P <sub>Rueda</sub>	P <sub>Motor</sub>	P <sub>Normal</sub>	M <sub>Normal</sub>	n	v	P <sub>Rueda</sub>	P <sub>Motor</sub>	P <sub>Normal</sub>	M <sub>Normal</sub>	n	v	P <sub>Rueda</sub>	P <sub>Motor</sub>	P <sub>Normal</sub>	M <sub>Normal</sub>
[rpm]	[mph]	[HP]	[HP]	[HP]	[lbf.ft]	[rpm]	[mph]	[HP]	[HP]	[HP]	[lbf.ft]	[rpm]	[mph]	[HP]	[HP]	[HP]	[lbf.ft]
<b>1009</b>	21,7	8,8	15,4	16,4	85,2	<b>1010</b>	21,7	9	15,4	16,3	85,2	<b>1010</b>	21,7	9,3	15,6	16,7	86,7
<b>1254</b>	27	13,1	21,2	22,5	94,4	<b>1254</b>	27	13,4	21,3	22,6	94,6	<b>1253</b>	27	13,6	21,3	22,8	95,5
<b>1502</b>	32,3	18,1	28	29,7	103,8	<b>1502</b>	32,3	18,3	28,8	29,5	103,1	<b>1502</b>	32,3	18,6	27,9	29,8	104,3
<b>1757</b>	37,8	27,4	39	41,4	123,8	<b>1758</b>	37,8	27,4	38,9	41,3	123,4	<b>1757</b>	37,8	27,6	38,8	41,3	123,6
<b>2005</b>	43,1	37	50,8	53,9	141,2	<b>2004</b>	43,1	36,8	50,2	53,3	139,6	<b>2003</b>	43,1	36,3	49,6	52,6	138
<b>2258</b>	48,6	50,5	66,5	70,6	164,2	<b>2257</b>	48,6	49,4	65	69	160,5	<b>2260</b>	48,6	49,9	65,3	69,5	161,6
<b>2500</b>	53,8	57,6	76	80,6	169,3	<b>2503</b>	53,8	57,1	75	79,6	167,1	<b>2499</b>	53,8	57	74,5	79,7	167,4
<b>2745</b>	59	55,8	76,5	81,2	155,3	<b>2743</b>	59	55,3	75,5	80,2	153,6	<b>2744</b>	59	55,5	75,3	80,1	153,4
<b>2995</b>	64,4	56,1	79,7	84,6	148,3	<b>2995</b>	64,4	55,7	78,5	83,3	146,2	<b>2995</b>	64,4	56,3	78,8	84	147,3
<b>3246</b>	69,8	53	79,4	84,2	136,3	<b>3246</b>	69,8	53	78,9	83,8	135,6	<b>3245</b>	69,8	52,7	77,8	82,6	133,7
<b>3496</b>	75,2	52,3	81,7	86,6	130,2	<b>3495</b>	75,2	50,8	80	85	127,7	<b>3496</b>	75,2	52,5	80,6	85,7	128,7
<b>Valor mínimo</b>			<b>Valor máximo</b>			<b>Valor mínimo</b>			<b>Valor máximo</b>			<b>Valor mínimo</b>			<b>Valor máximo</b>		

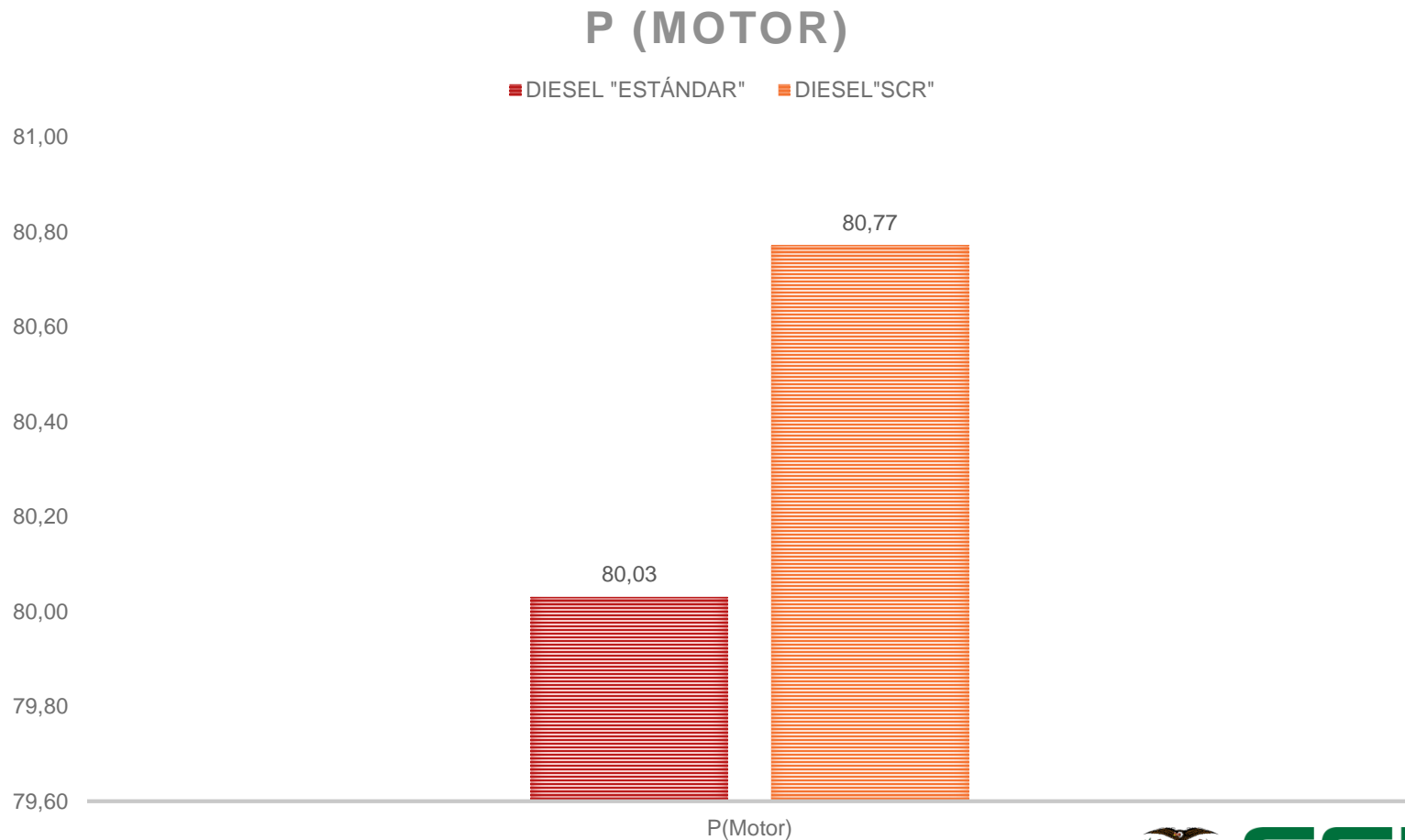


- **Promedio de los valores máximos de las pruebas de Torque y Potencia.**

Valores	DIESEL "ESTÁNDAR"		DIESEL "SCR"	
	P(Motor)(HP)	M(Normal)(lbf-ft)	P(Motor)(HP)	M(Normal)(lbf-ft)
Valor Máximo 1	82,1	166	81,7	169,3
Valor Máximo 2	79,1	158,4	80	167,1
Valor Máximo 3	78,9	164,1	80,6	167,4
Promedio	80,03	162,83	80,77	167,93



- **Potencia Estándar vs SCR vs Nominal.**



- **Torque Estándar vs SCR vs Nominal.**

M(MÁXIMO)

■ DIESEL "ESTÁNDAR" ■ DIESEL "SCR"

162,83

167,93

M(Normal)



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# PRUEBAS DE OPACIDAD

- La prueba de opacidad, se fundamentan a partir de los protocolos de normas NTE INEN 2202:2000 y 2207:2000 que se referencia en los ensayos de aceleración gobernada.



# Resultados de opacidad

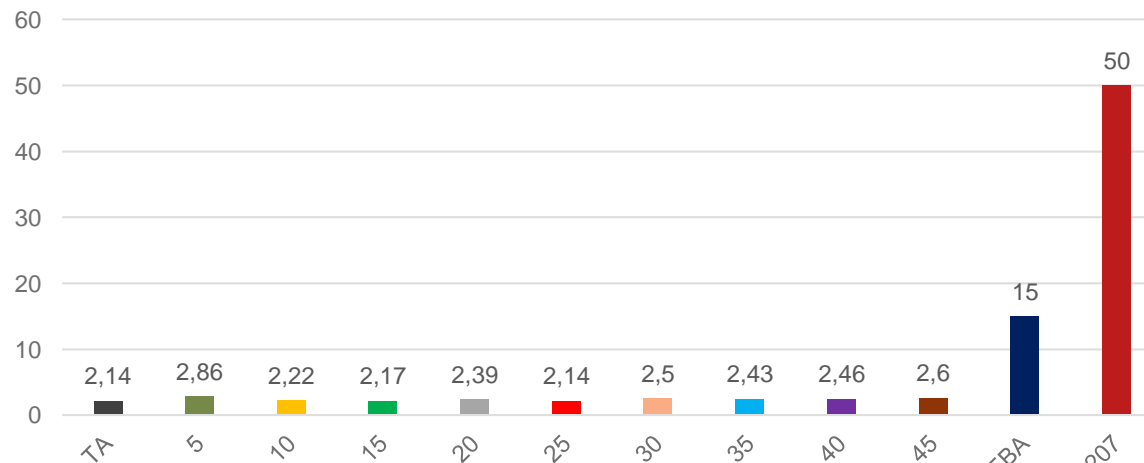
OPACIDAD (%)			
LÍMITES	LÍMITE DEL EQUIPO	15	
	NTE INEN 2207	50	
Estándar	<b>Condición</b>	<b>Opacidad</b>	
	Escape original	2,96	
	Escape SCR	2,56	
Modo de operación del módulo de inyección	<b>Tiempo de Inyección</b>	<b>Opacidad</b>	
	TA*	2,14	
	5	2,86	
	10	2,22	
	15	2,17	
	20	2,39	
	25	2,14	
	30	2,5	
	35	2,43	
	40	2,46	
	45	2,60	
	AUTOMÁTICO	Calculado	4,13
	SEMIAUTOMATICO	<b>Sensores – Combinaciones</b>	<b>Opacidad</b>
CMP		2,33	
APP		2,14	
ECT		2,79	
TERMOCUPLA		2	
CMP-TERMOCUPLA		1,62	
CMP-APP		2,01	
CMP-ECT		2,04	

TA\* = Totalmente Abierto



# Análisis Modo Manual

MANUAL	TA*	2,14
	5	2,86
	10	2,22
	15	2,17
	20	2,39
	25	2,14
	30	2,5
	35	2,43
	40	2,46
	45	2,60
	Opacidad (%)	2,60



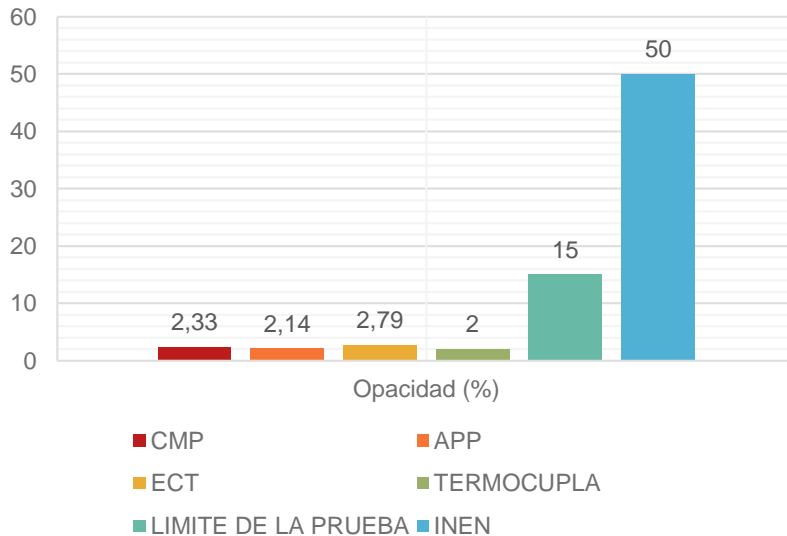
LÍMITE DE LA PRUEBA  
NTE INEN 2207



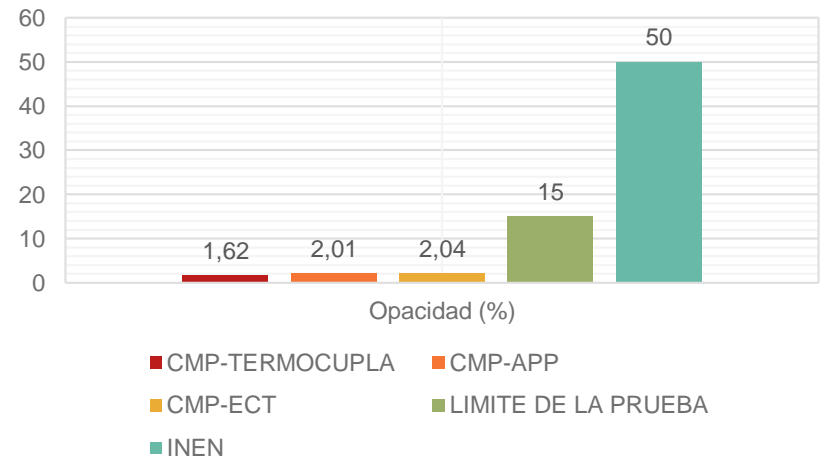
# Resultados Modo Semiautomático

	Sensores – Combinaciones	Opacidad
SEMIAUTOMATICO	CMP	2,33
	APP	2,14
	ECT	2,79
	TERMOCUPLA	2
	CMP-TERMOCUPLA	1,62
	CMP-APP	2,01
	CMP-ECT	2,04

OPACIDAD (%)



OPACIDAD (%)





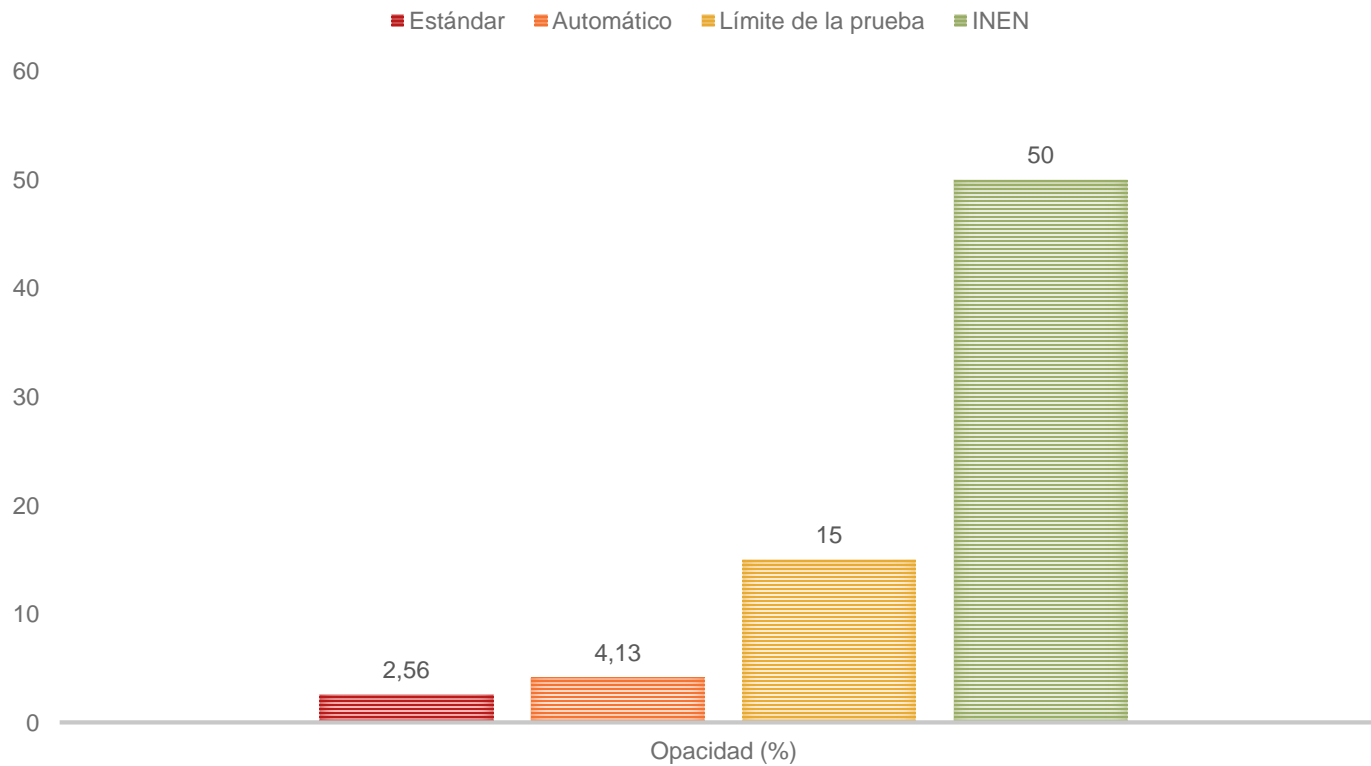
# Análisis Modo Automático

**AUTOMÁTICO**

Calculado

4,13

## OPACIDAD (%)



# PRUEBAS DE EMISIONES

- Las pruebas de emisiones se fundamentan a partir de los protocolos de normas NTE INEN 2202:2000 y 2207:2000 que se referencia en los ensayos de aceleración libre.



# Resultados

- Resultados de Emisiones Estándar

Gases	Estándar
CO (% Vol)	0,06
CO2 (% Vol)	2,6
HC (ppm Vol)	35
O2 (% Vol)	18,4
NO (ppm Vol)	250

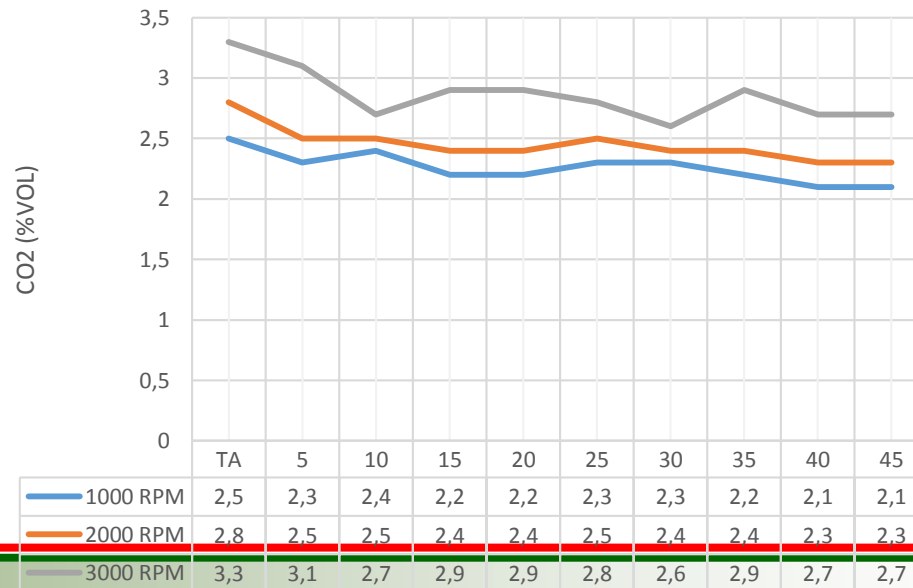
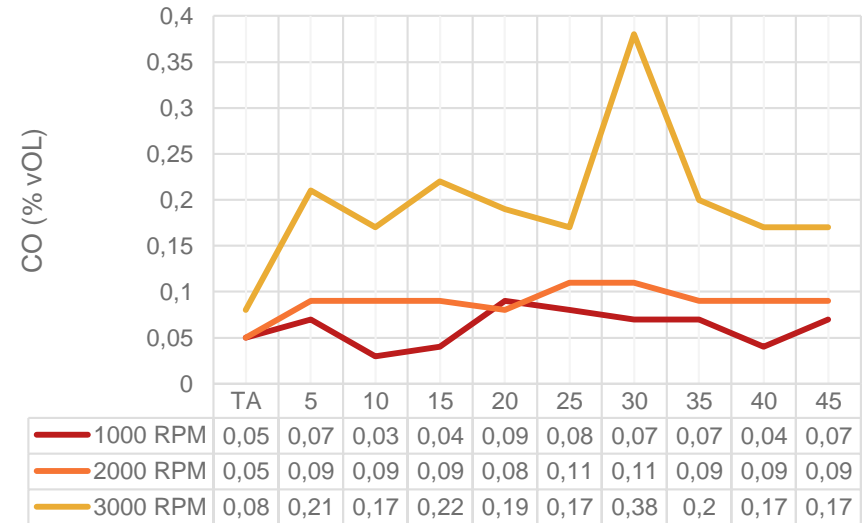
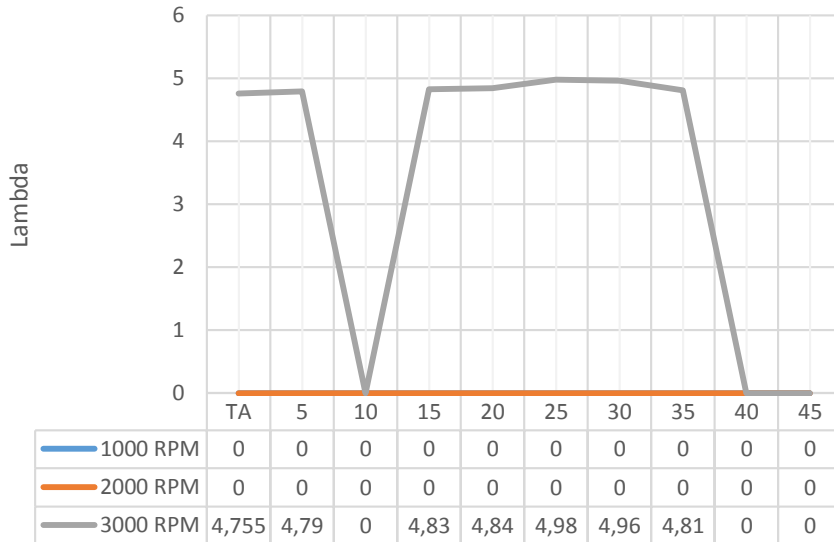


# Resultados modo Manual

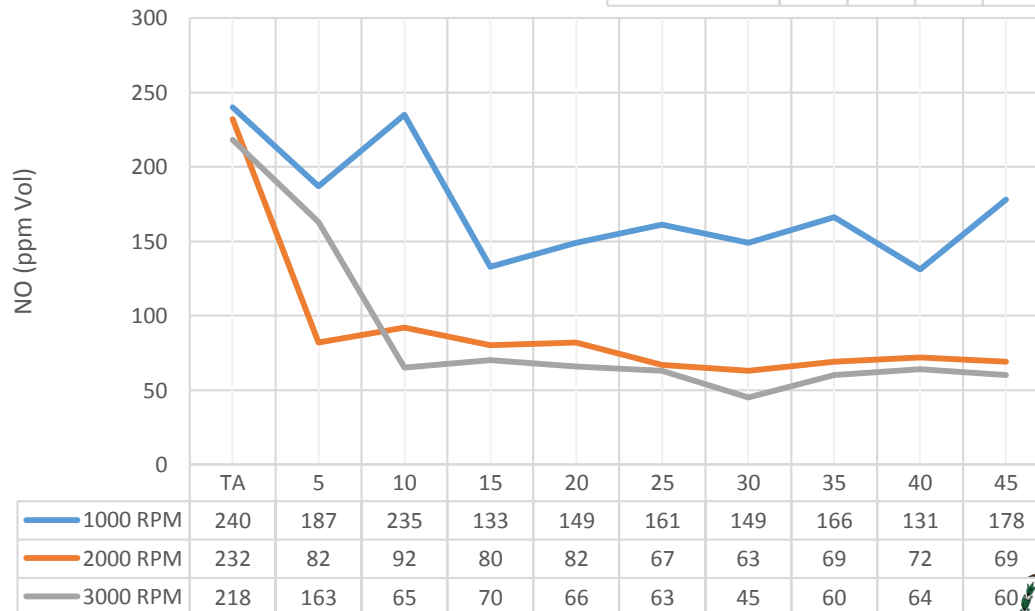
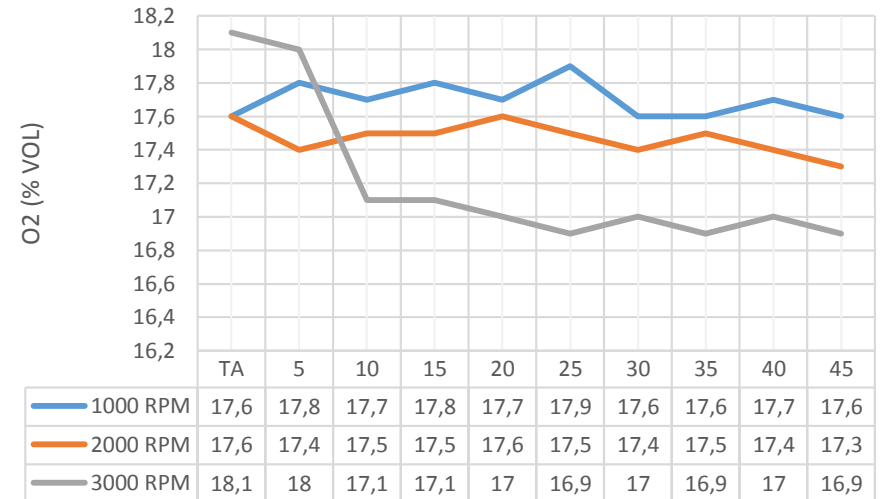
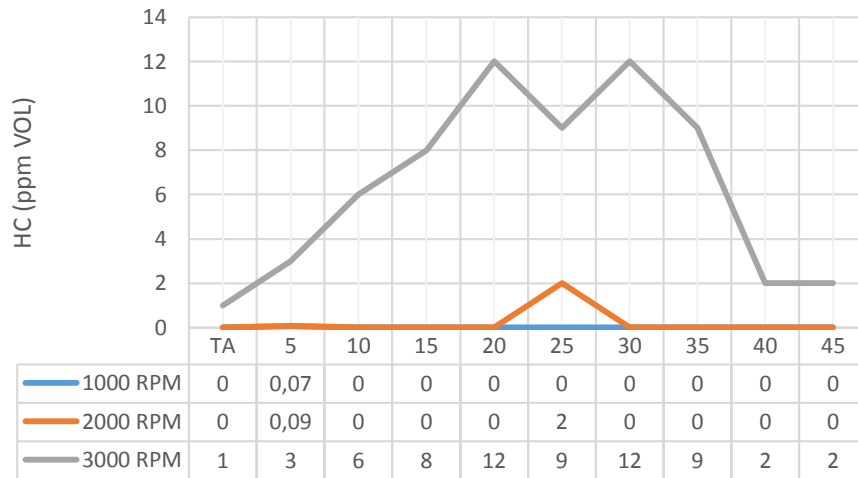
EMISIONES MODO MANUAL																		
RPM	1000 RPM						2000 RPM						3000 RPM					
T Inyección	CO	CO2	HC	O2	NO	LAMBDA	CO	CO2	HC	O2	NO	LAMBDA	CO	CO2	HC	O2	NO	LAMBDA
TA	0,05	2,5	0	17,6	240	0	0,05	2,8	0	17,6	232	0	0,08	3,3	1	18,1	218	4,755
5	0,07	2,3	0,07	17,8	187	0	0,09	2,5	0,09	17,4	82	0	0,21	3,1	3	18	163	4,79
10	0,03	2,4	0	17,7	235	0	0,09	2,5	0	17,5	92	0	0,17	2,7	6	17,1	65	0
15	0,04	2,2	0	17,8	133	0	0,09	2,4	0	17,5	80	0	0,22	2,9	8	17,1	70	4,83
20	0,09	2,2	0	17,7	149	0	0,08	2,4	0	17,6	82	0	0,19	2,9	12	17	66	4,84
25	0,08	2,3	0	17,9	161	0	0,11	2,5	2	17,5	67	0	0,17	2,8	9	16,9	63	4,98
30	0,07	2,3	0	17,6	149	0	0,11	2,4	0	17,4	63	0	0,38	2,6	12	17	45	4,96
35	0,07	2,2	0	17,6	166	0	0,09	2,4	0	17,5	69	0	0,2	2,9	9	16,9	60	4,81
40	0,04	2,1	0	17,7	131	0	0,09	2,3	0	17,4	72	0	0,17	2,7	2	17	64	0
45	0,07	2,1	0	17,6	178	0	0,09	2,3	0	17,3	69	0	0,17	2,7	2	16,9	60	0
<b>Promedio</b>	0,06	2,26	0,01	17,7	173	0,00	0,09	2,45	0,21	17,4	91	0,00	0,20	2,86	6,4	17,2	87	3,40



# Análisis Modo Manual



# Análisis Modo Manual



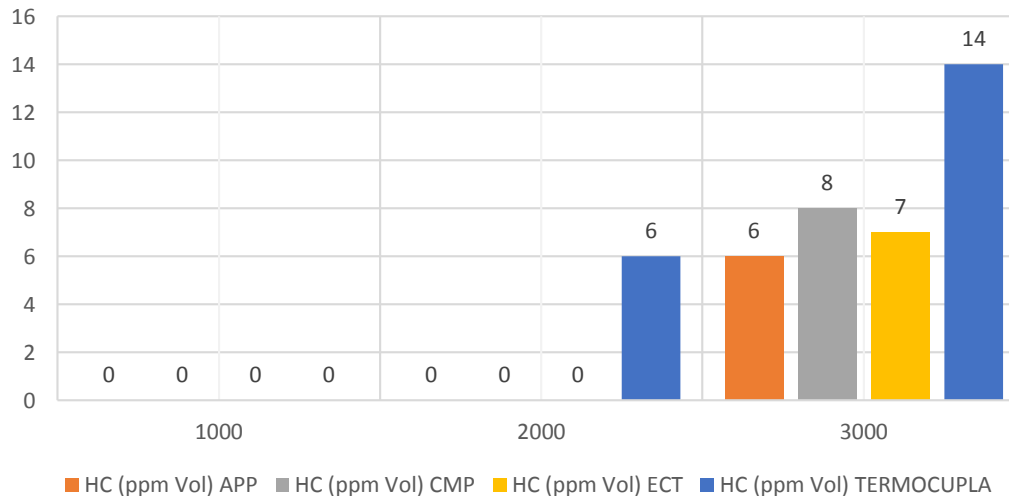
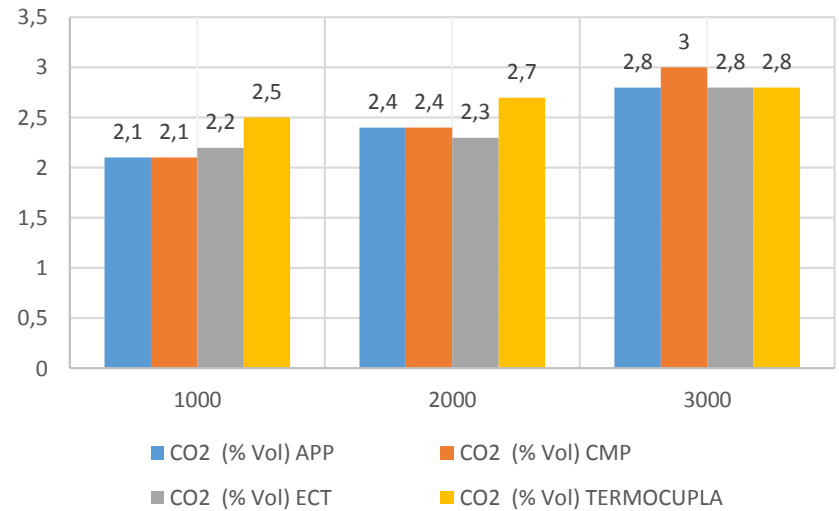
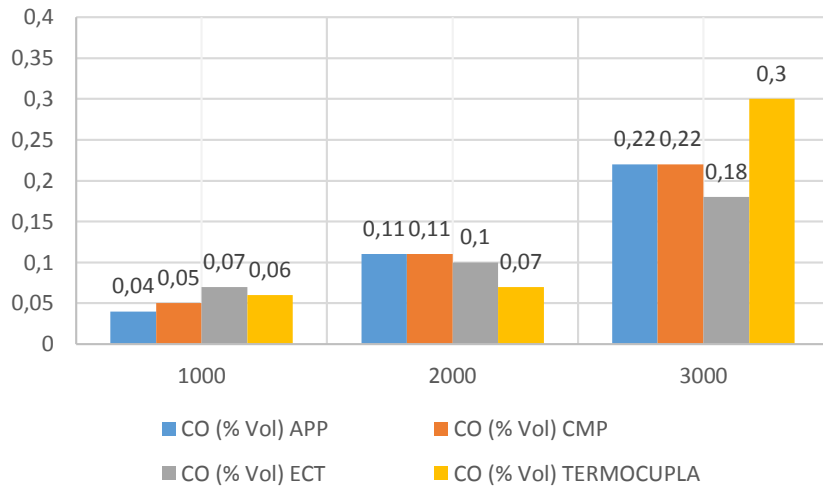
# Resultados modo Semiautomático

- Sensores Individuales

SENSORES INDIVIDUALES																
GASES	1000RPM					2000 RPM					3000 RPM					
	A P P	C M P	E C T	TERM OCUP LA	PRO MEDI O	A P P	C M P	E C T	TERM OCUP LA	PRO MEDI O	A P P	C M P	E C T	TERM OCUP LA	PRO MEDI O	
CO	0,4	0,5	0,7	0,06	0,06	0,1	0,1	0,1	0,07	0,10	0,22	0,2	0,2	0,18	0,3	0,23
CO <sub>2</sub>	2,1	2,1	2,2	2,5	2,23	2,4	2,4	2,3	2,7	2,45	2,8	3	2,8	2,8	2,85	2,85
HC	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1,50	6	8	7	14	8,75	8,75
O <sub>2</sub>	17,8	17,8	17,8	17,1	17,63	17,4	17,6	17,5	17,2	17,43	16,5	16,7	16,8	16,5	16,63	16,63
NO	126	135	170	105	134	73	66	68	63	67,5	86	81	70	51	72	72
LA MB DA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,80	4,6	4,94	4,703	4,77	4,77

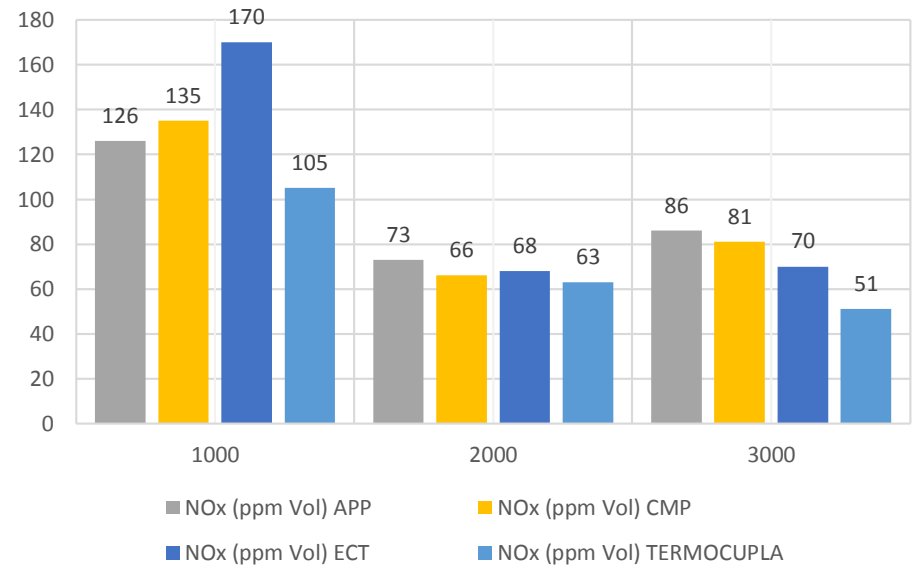
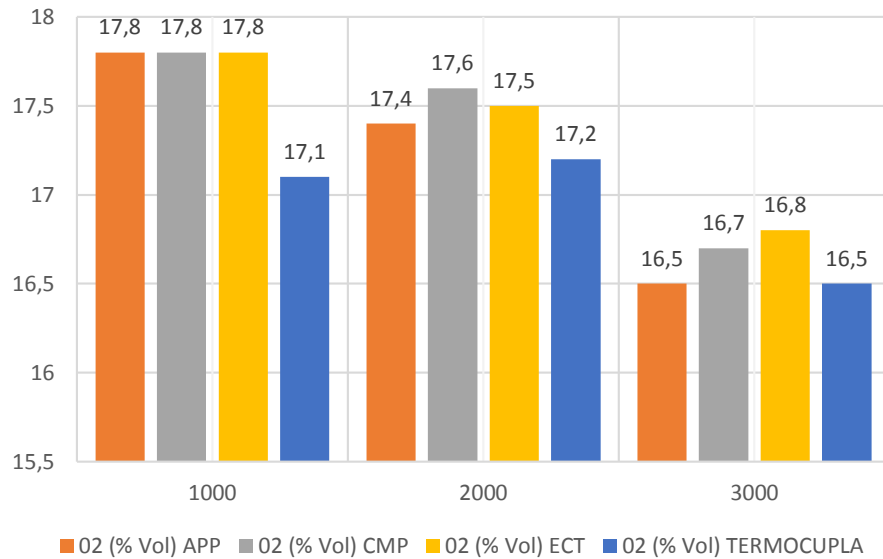


# Análisis Modo Semiautomático





# Análisis Modo Semiautomático



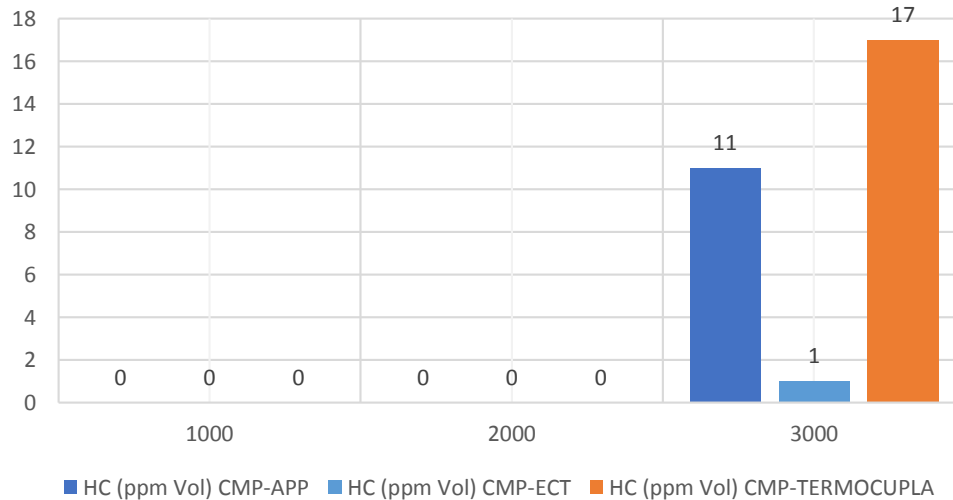
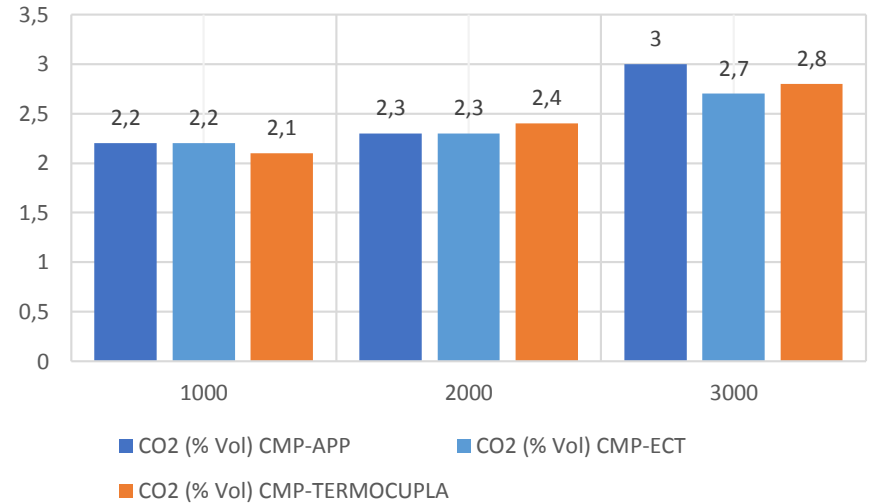
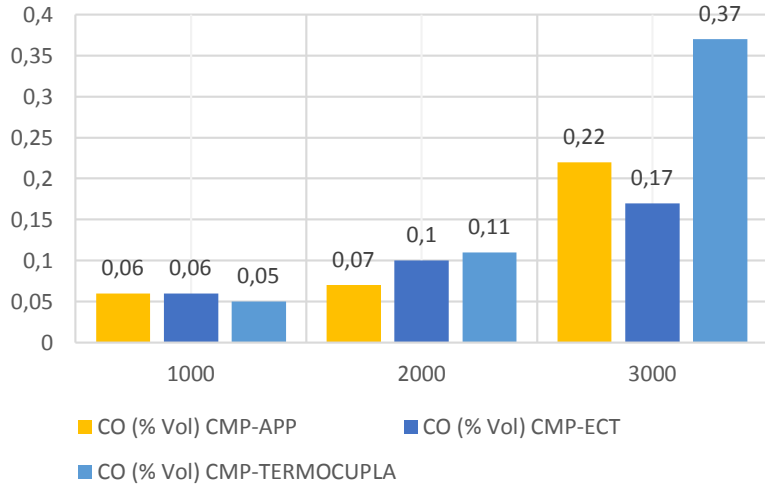
# Resultados modo Semiautomático

- Sensores Combinados

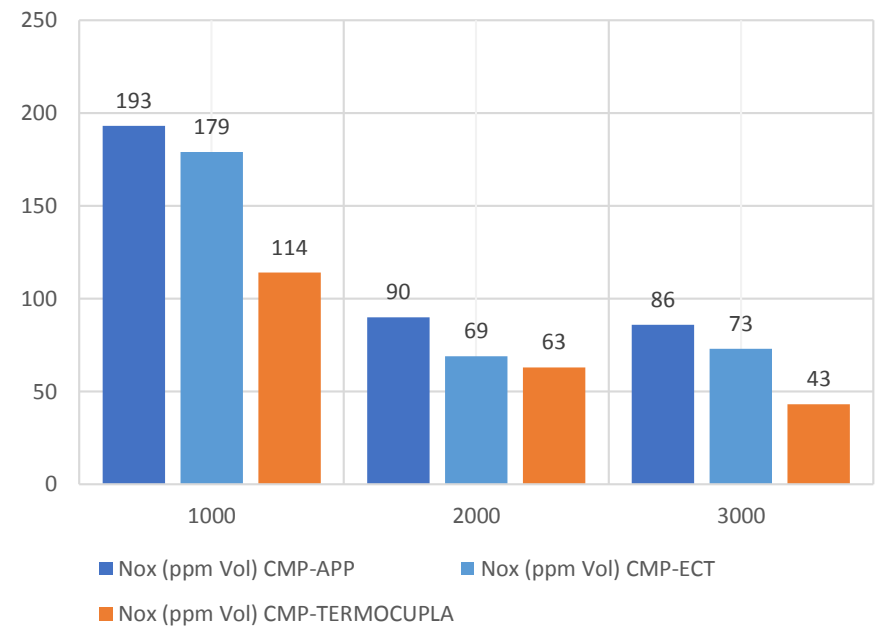
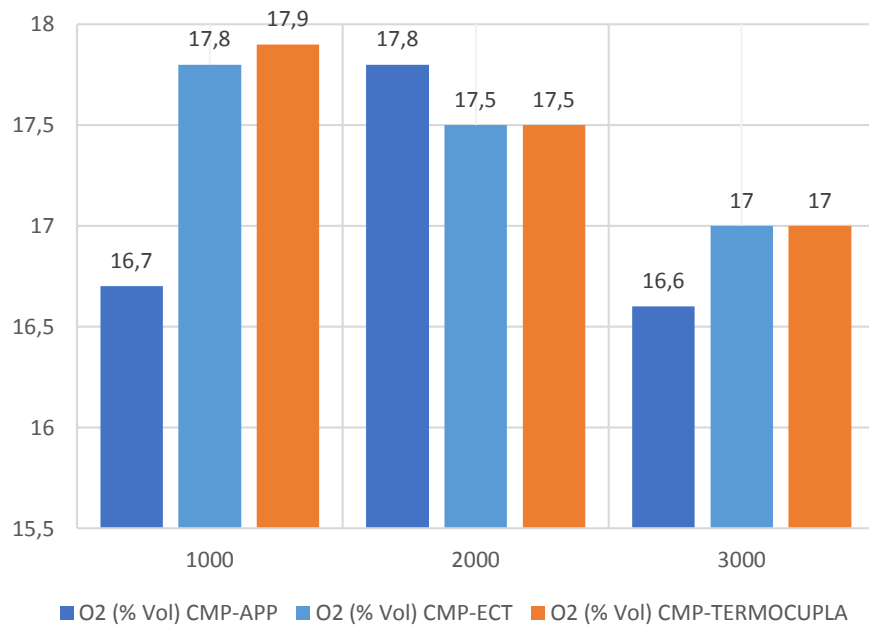
SENSORES COMBINADOS												
	1000 RPM				2000 RPM				3000 RPM			
GASES	CMP-APP	CMP-ECT	CMP-TERMOCU.	PROMEDIO DIO	CMP-APP	CMP-ECT	CMP-TERMOCU.	PROMEDIO	CMP-APP	CMP-ECT	CMP-TERMOCU.	PROMEDIO
CO	0,06	0,06	0,05	0,06	0,07	0,1	0,11	0,09	0,22	0,17	0,37	0,25
CO2	2,2	2,2	2,1	2,17	2,3	2,3	2,4	2,33	3	2,7	2,8	2,83
HC	0	0	0	0	0	0	0	0	11	1	17	9,67
O2	16,7	17,8	17,9	17,47	17,8	17,5	17,5	17,6	16,6	17	17	16,87
NO	193	179	114	162	90	69	63	74	86	73	43	67,33
LAMBDA	0	0	0	0	0	0	0	0	4,59		4,702	4,65



# Análisis Modo Semiautomático



# Análisis Modo Semiautomático



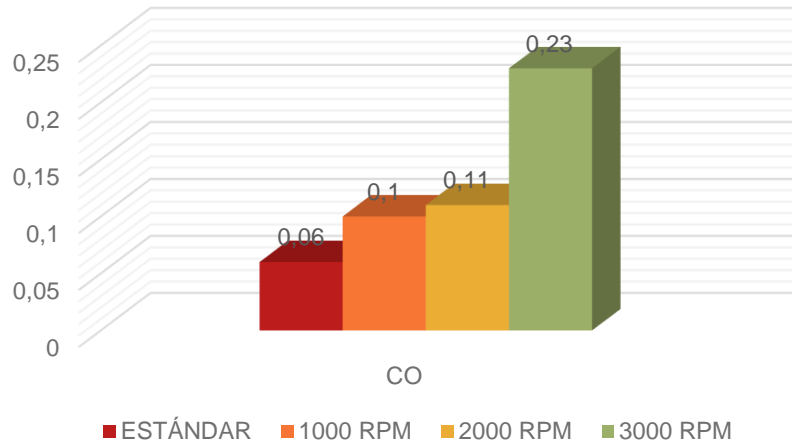
# Resultados modo Automático

Gases	RALENTI	1000 RPM	2000 RPM	3000 RPM
CO(%Vol)	0,03	0,1	0,11	0,23
CO2(%Vol)	2,4	2,3	2,5	3
HC(ppmVol)	0	0,1	9	15
O2(%Vol)	17,6	17,7	17,4	16,6
NO(ppmVol)	229	111	53	77

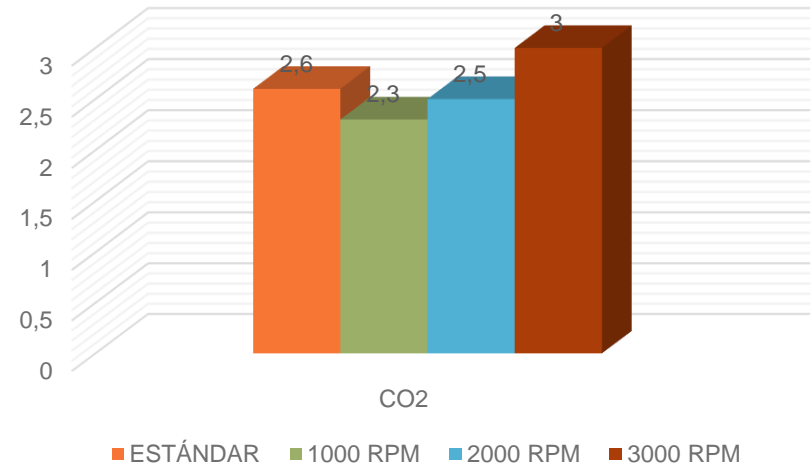


# Análisis Modo Automático

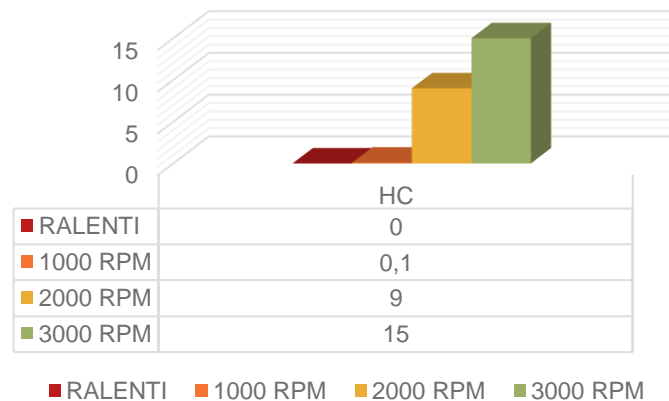
## GRÁFICA CO (%VOL)



## GRÁFICA CO2 (%VOL)

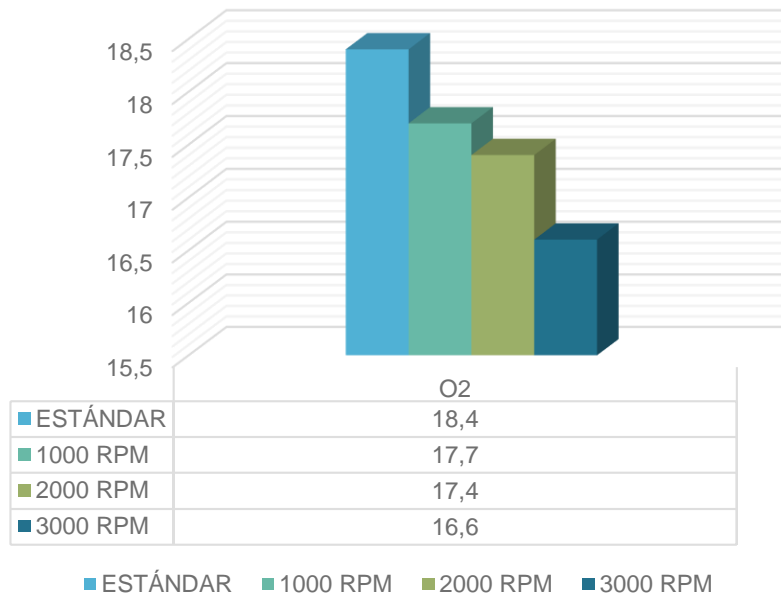


## GRÁFICA HC(PPM-VOL)

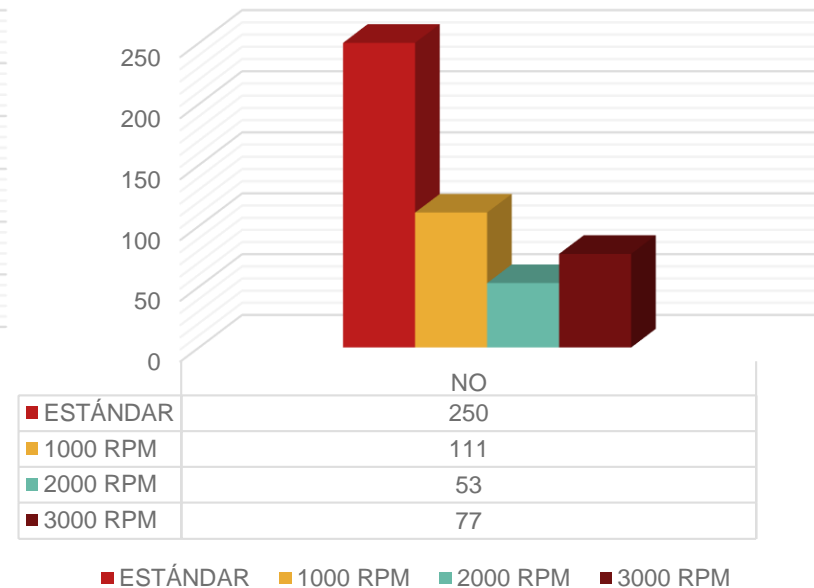


# Análisis Modo Automático

## GRÁFICA 02 (%VOL)



## GRÁFICA NO (PPM-VOL)



# CONSUMO DE COMBUSTIBLE

- De acuerdo al protocolo de comunicación ISO 15765-4 CAN (11 bit ID. 500 Kbaud) con el uso de la interfaz ElmScan 5 mediante el sistema de diagnóstico a bordo OBD II, con su conector de 16 pines.



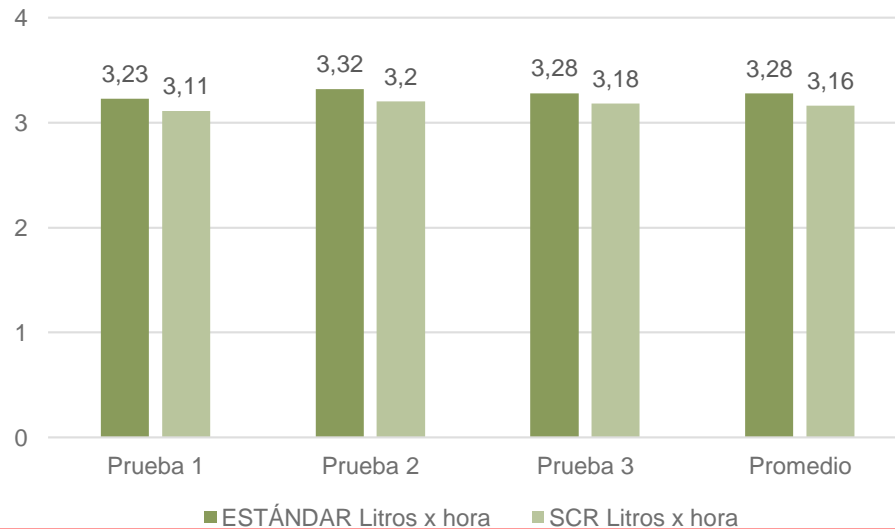
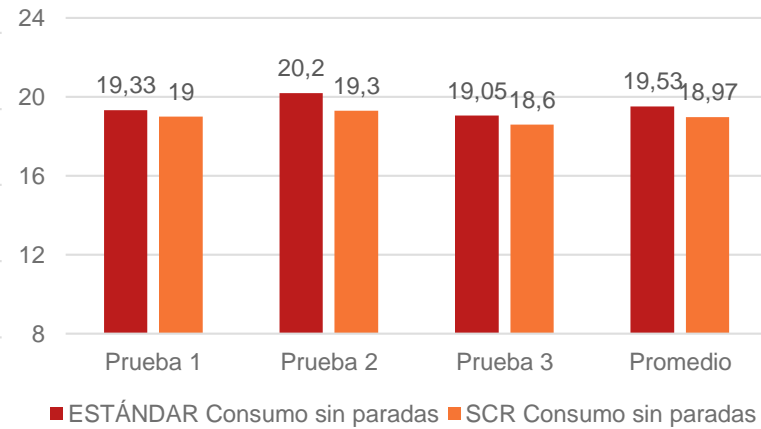
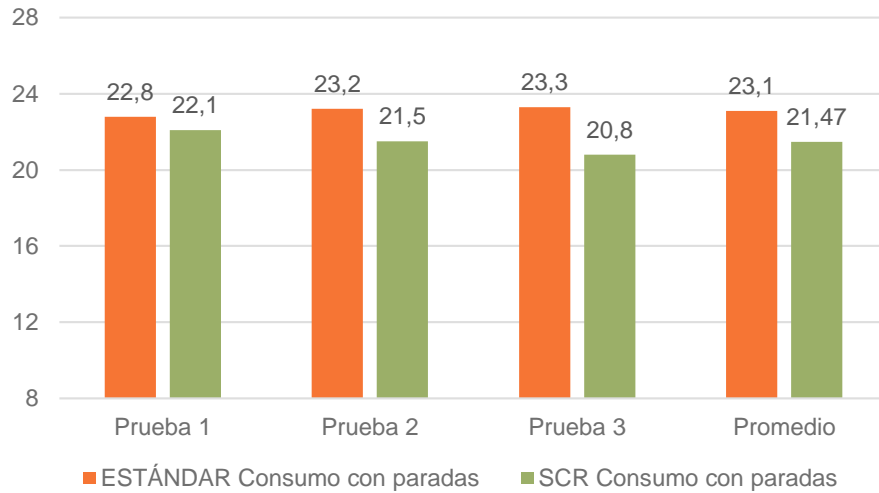


# Resultados

N°	ESTANDAR				SCR			
	Total Lt/100km	Inst Lt/100km	Litros x hora	Litros Total	Total Lt/100km	Inst Lt/100km	Litros x hora	Litros Total
Prueba 1	22,8	19,33	3,23	19,37	22,1	19	3,11	19,1
Prueba 2	23,2	20,2	3,12	19,35	21,5	19,3	3,2	19,22
Prueba 3	23,3	19,05	3,4	19,26	20,8	18,6	3,03	18,32
Promedio	23,10	19,53	3,25	19,33	21,47	18,97	3,11	18,88

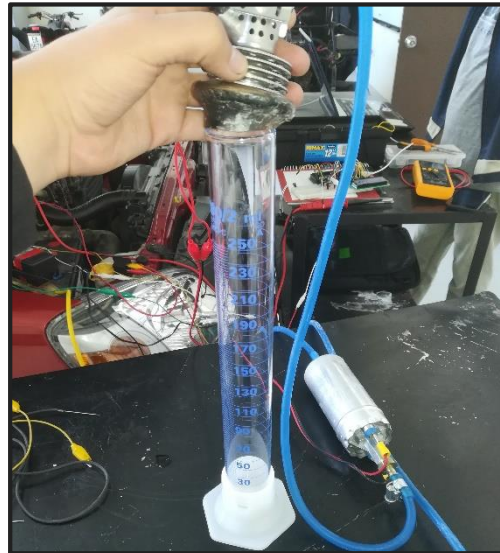


# Análisis



# CONSUMO VOLUMÉTRICO DEL INYECTOR

- El consumo volumétrico de AdBlue, se realizó bajo diferentes parámetros y condiciones de operación y funcionamiento del inyector como tiempo de inyección, tiempo de apertura a diferentes regímenes de giro.

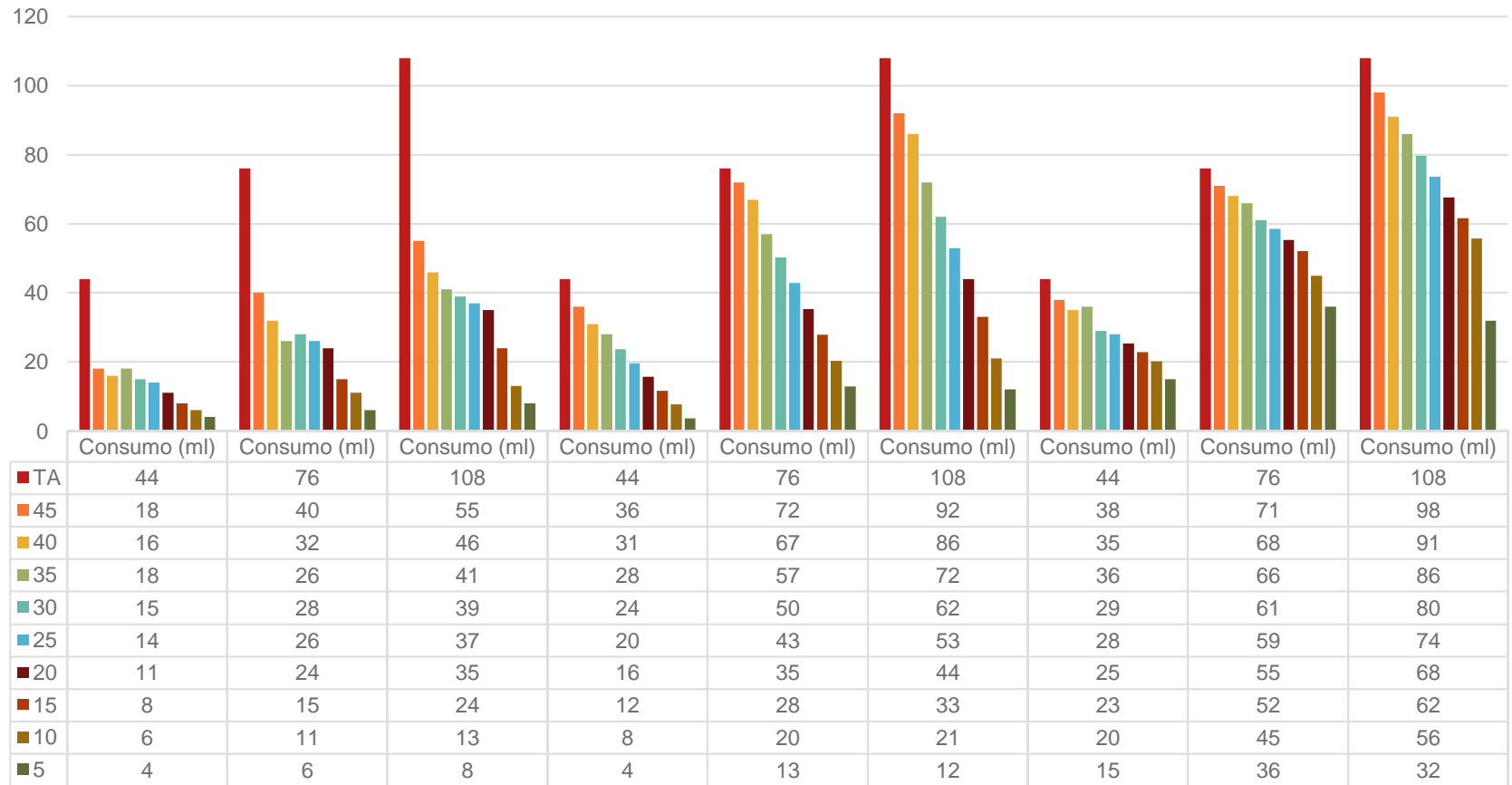


# Resultados

RPMs		1000 RPM						2000 RPM						3000 RPM					
Tiempo Activado		2min		4min		6min		2min		4min		6min		2min		4min		6min	
T. inyec. (ms)	N° Pulso.	Con. (ml)	N° Pulso	Con. (ml)	N° Pulso	Con. (ml)	N° Pulso	Con. (ml)	N° Pulso	Con. (ml)	N° Pulso	Con. (ml)	N° Pulso	Con. (ml)	N° Pulso	Con. (ml)	N° Pulso	Con. (ml)	
TA		44		76		108		44		76		108		44		76		108	
45	1441	18	1461	40	2175	55	1187	36	2376	72	3558	92	1441	38	2885	71	4331	98	
40	1538	16	1501	32	2265	46	1247	31	2496	67	3747	86	1538	35	3068	68	4612	91	
35	1632	18	1547	26	2367	41	1317	28	2632	57	3950	72	1632	36	3278	66	4930	86	
30	1728	15	1598	28	2471	39	1380	24	2757	50	4144	62	1728	29	3470	61	5223	80	
25	1824	14	1655	26	2463	37	1445	20	2885	43	4340	53	1824	28	3667	59	5523	74	
20	1919	11	1719	24	2570	35	1510	16	3013	35	4536	44	1919	25	3863	55	5822	68	
15	2015	8	1775	15	2663	24	1575	12	3141	28	4732	33	2015	23	4060	52	6122	62	
10	2110	6	1843	11	2767	13	1640	8	3269	20	4928	21	2110	20	4256	45	6421	56	
5	2206	4	1921	6	2911	8	1705	4	3397	13	5124	12	2206	15	4453	36	6721	32	



# Análisis



■ TA ■ 45 ■ 40 ■ 35 ■ 30 ■ 25 ■ 20 ■ 15 ■ 10 ■ 5



# CONCLUSIONES

- Se recopiló la información científica necesaria que fundamente el desarrollo de la investigación propuesta.
- Se realizó el levantamiento de requerimientos de la implementación del sistema SCR con inyección de AdBlue en el sistema de escape, fundamentando su principio de funcionamiento desde la visión mecánica, eléctrica y electrónica.
- Se implementó el sistema SCR con inyección de AdBlue en el sistema de escape en el motor MZR – CD 2,5 L CRDI, considerando parámetros mecánicos: catalizador, inyector, materiales del tubo de escape; hidráulicos: ubicación del depósito, tipo de bomba, tipo de cañerías, filtro; eléctricos: tipo de cables, fuente y electrónicos: programación, elementos electrónicos.



- Se diseñó e implementó el módulo de control de inyección de AdBlue, con tres diferentes modos de operación: Manual, Semiautomático, Automático.
- Se realizó las pruebas de torque y potencia en el CCICEV, ciudad de Quito, con el dinamómetro de rodillos MAHA 3000, con el sistema estándar y el sistema SCR implementado, con el modo automático.
- Se obtuvieron resultados de pruebas de opacidad en el laboratorio de Autotrónica, ESPE-L, con el opacímetro CARTEK, con el cual se realizó pruebas con el sistema estándar del vehículo y con el sistema SCR en todos sus modos de operación.



- Se comprobó la eficacia del sistema SCR mediante las pruebas de gases realizadas en el laboratorio de Autotrónica, ESPE-L, utilizando el analizador de gases Brian Bee.
- Se realizó de consumo de combustible con el motor estándar, para determinar el volumen necesario del depósito de AdBlue en función del consumo del combustible.
- Se efectuó pruebas del consumo volumétrico del inyector a diferentes tiempos de inyección, para realizar una relación con el consumo de combustible y determinar el nivel del depósito de AdBlue.





- La potencia del vehículo Mazda BT – 50 MZR – CD 2,5 L CRDI en condiciones estándar es 80,03 HP y con el sistema SCR es 80,77 HP; se establece un incremento con el sistema SCR de 0,74 HP que representa 0,91% de incremento respecto de las condiciones originales de manufactura.
- Se determinó que el torque de 162,83 lb-ft en condiciones estándar y 167,93 lb-ft del sistema SCR implementado, se registra un incremento con el sistema SCR de 5,1 lbf-ft, revelando que el torque del motor MZR – CD 2,5 L CRDI es más eficiente un 3,03% respecto al torque del sistema estándar del vehículo.



- En el modo manual se registró una opacidad mínima de 2,14% con el inyector totalmente abierto y una opacidad máxima de 2,86 % con un tiempo de inyección de 5 ms, lo que representa una menor contaminación cuando existe mayor volumen de AdBlue inyectado en el catalizador, pero en todos los casos el vehículo aprobaría la revisión.
- En el modo semiautomático se registra un menor valor de opacidad cuando el sistema controla la inyección de AdBlue en función de los sensores individuales, de la temperatura del catalizador con una opacidad del 2 % reduciendo la contaminación ambiental en función de la reacción química metales nobles del sistema catalítico del SCR, al utilizar otras posibilidades de control de inyección de AdBlue mediante sensores mantienen un límite de opacidad dentro de un valor no superior a 2,79 % valores los cuáles un superan la norma NTE INEN 2 207:2000.



- El menor valor de opacidad alcanzado en el modo semiautomático se obtiene que cuando el sistema controla la inyección de AdBlue con sensores combinados, en CMP-Termocupla del 1,62 % reduciendo el impacto ambiental al controlar la inyección de AdBlue, los valores permisibles de la norma NTE INEN 2 207:2000, al utilizar otras combinaciones del modo semiautomático no superan al 2,04 % que corresponde a la combinación CMP-ECT.
- El porcentaje de CO en el modo manual se obtiene, a 1000 RPM existe un promedio de 0,06 %, igual al porcentaje estándar de CO, a 2000 RPM existe un promedio de 0,09 %, dónde existe una diferencia de 0,03 % con la estándar, a 3000 RPM se refleja un promedio de 0,20 %, evidenciando una divergencia de 0,17 % con la estándar, con lo cual se obtiene una reducción de la proporción de CO de 33,33% a 2000 RPM y de 70% a 3000 RPM con respecto a la estándar.



- El porcentaje de CO<sub>2</sub> en el modo manual indica que, a 1000 RPM existe un promedio de 2,26 %, a 2000 RPM se muestra un promedio de 2,45 %, a 3000 RPM muestra un promedio de 2,86 %, lo cual indica una reducción de 13,07 % de proporción de CO<sub>2</sub> a 1000 RPM y de 5,76 % a 2000 RPM, mientras que a 3000 RPM hay un aumento de 9,09 %, indicando que a 1000 y 2000 RPM el sistema SCR ayuda con la contaminación ambiental.
- En el modo manual, se observa que en la mayoría de los casos las ppm de HC dan cero, pero reflejan promedios de ppm de HC de 0,007 y 0,209 ppm a 1000 y 2000 RPM respectivamente, mientras que a 3000 RPM existe un promedio de 6,4 ppm, lo que quiere decir que el sistema SCR posee una eficiencia en la reducción de HC de 18,28%.



- En el modo manual se obtuvo que a 1000 RPM existe un promedio de 17,7 %, por otro lado a 2000 RPM existe un promedio de 17,47 % y de 17,2 % a 3000 RPM, lo que indica una reducción de 5,56 % y 7,02 % a 2000 y 3000 RPM respectivamente, con lo cual el sistema SCR ayuda a reducir el porcentaje de O<sub>2</sub> a la atmósfera.
- En el modo manual se obtuvo, que los valores de ppm de NO<sub>x</sub> con promedios de 173, 91 y 87 a 1000, 2000 y 3000 RPM respectivamente, lo que con respecto a las ppm de NO<sub>x</sub> del sistema convencional de 250 ppm, indicando que el sistema SCR disminuye el porcentaje de emisiones de NO<sub>x</sub> al ambiente en 30,8 %, 63,6 % y 65,2 % en orden de 1000, 2000 y 3000 RPM.



- En el modo semiautomático, indican porcentajes de CO, el cuál a condiciones estándar es de 0,06 %, mientras que a 2000 RPM se reflejó un promedio de 0,10 % y a 3000 RPM donde se obtuvo un promedio de 0,23 %, indicando que a 2000 y 3000 RPM el sistema SCR no reducen las emisiones de CO resultando un aumento del 40 % y 73,91 %, respectivamente.
- El modo semiautomático, indica un promedio del porcentaje de CO<sub>2</sub> a 1000, 2000 y 3000 RPM de 2,6 %, 2,45 % y 2,85 % respectivamente, evidenciando que existe una reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> a 2000 RPM de 5,76 % y a 3000 RPM un incremento del 8,77 %.



- El modo semiautomático, muestra las ppm de HC, la cual a 1000 RPM obtenemos valores de 0 ppm, por el contrario a 3000 RPM existe un promedio de 8,75 ppm de HC, valor que indica un 100 % de aumento de ppm de HC ya que en el sistema estándar, se evidencio 0 ppm de HC, reflejando que el sistema SCR no ayuda con la reducción de emisiones de HC.



- El modo semiautomático, obtuvo porcentajes de O<sub>2</sub>, los cuales reflejaron un promedio de 17,63 % a 1000 RPM, valor que disminuye 0,77 % con respecto al 18,4 % de O<sub>2</sub> del sistema convencional del vehículo, por otro lado a 2000 RPM se obtiene un promedio de 17,43 % y a 3000 RPM un 16,63 %, siendo el sensor de O<sub>2</sub> el más influyente para obtener una diferencia de 0,97 % y 1,77 % de O<sub>2</sub>, respectivamente con relación al sistema SCR, esto muestra una reducción de las emisiones de O<sub>2</sub> con el sistema SCR implementado de 4,18 % a 1000 RPM, 5,27 % a 2000 RPM y 9,61 % a 3000 RPM.





- En el modo semiautomático se muestran las ppm de NOx obtenidas con el sistema SCR, comparadas con el valor de 250 ppm de NOx del sistema estándar, esto refleja que la termocupla del catalizador toma los valores más bajos a las diferentes RPMs, lo cual indica que existe una reducción de emisiones de NOx al ambiente de 46,4 % a 1000 RPM, 73 % a 2000 RPM y a 3000 RPM llega a reducir un 71,2 %.
- En el modo automático el porcentaje de CO sin el sistema SCR muestra un valor de 0,03% como su valor mínimo y a 3000 RPM un valor de 0,23%, registrándose un aumento de CO de 0,20%, es decir que a 3000 RPM se evidencia un incremento de emisiones contaminantes de CO 86,95 % respecto al estándar, lo cual indica que el sistema SCR no es eficiente en este caso.



- El modo automático indicó que el porcentaje de CO<sub>2</sub> se mantiene casi constante, mostrando 2,3% de CO<sub>2</sub> a 1000 RPM con un incremento de 0,7% a 3000 RPM resultando 3% de CO<sub>2</sub>, demostrando que el sistema SCR no es eficiente para la reducción de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.
- En el modo automático se observó un valor de 0 ppm en condiciones estándar, a 1000 RPM se tiene 0,1 ppm de HC reflejando un incremento de 14,9 ppm cuando las revoluciones del motor llegan a ser 3000 RPM, evidenciando que su valor se ha incrementado un 100%, llegando a 15 ppm, esto indica que el sistema SCR no ayuda a reducir las ppm de HC.



- En el modo automático se observó el porcentaje de O<sub>2</sub>, llegando a ser el mínimo valor 17,4% cuando el motor está girando a 2000 RPM, y un valor máximo de 17,7% cuando el motor está a 1000 RPM, evidenciando una disminución de emisiones al ambiente de O<sub>2</sub> de 0,03%.
- 
- En el modo automático se obtiene que a condiciones estándar es cuando más ppm de NO existe llegando a tomar un valor de 229 ppm y llegan a tener una disminución de 176 ppm de NO cuando el motor está girando a 2000 RPM, reflejando una reducción de 76,85%, ayudando un 67,86 % a disminuir los gases de contaminación de NO.



- Las pruebas de consumo indican que existe una autonomía de 7,056 % del vehículo en el rendimiento por cada 100km con paradas, además resulta un ahorro de combustible de un 2,86 % por cada 100 km recorridos sin tomar en cuenta la cantidad de combustible quemada cuando el vehículo está detenido, por otra parte se mostró una autonomía de 3,65 % por litro consumido en una hora, con lo que se evidenció una autonomía de 0,99 % con el sistema SCR implementado.
- En número de pulsos del inyector son inversoramente proporcionales, al tiempo de apertura del inyector.



# RECOMENDACIONES

- Determinar mediante el diagrama eléctrico del motor MZR-CD 2.5 L CRDI, los pines de señal de los diferentes sensores (APP, CMP y ECT) que van a ser recibidos por el módulo de control.
- Determinar de forma correcta las ecuaciones de los sensores del vehículo que van a ser procesadas por el controlador arduino, para de esta manera obtener un valor real de cada sensor.
- Ajustar la inyección a diferentes tiempos (en milisegundos), para determinar la influencia que existe en los niveles de opacidad y análisis de gases.



- Para investigaciones posteriores se recomienda implementar sensores de NOx antes y después del catalizador, creando nuevos mapas de control de inyección de AdBlue y mejorar la reducción de NOx.
- En investigaciones posteriores se recomienda la implementación de más sensores del vehículo para el cálculo del tiempo de inyección como son: sensor Presión Absoluta del Colector (MAP), Velocidad del Vehículo (VSS), etc. De esta manera conocer la influencia que tiene cada sensor.



- Para investigaciones futuras del sistema SCR se recomienda implementar un regulador de presión y retorno en el sistema hidráulico, con el fin de proteger la bomba.



*“Miré a mi alrededor y no encontré el auto  
de mis sueños por lo que decidí construirlo  
yo mismo”*

**Ferdinand Porsche**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



# GRACIAS



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA